

LATVIJAS UNIVERSITĀTE
ĢEOGRĀFIJAS UN ZEMES ZINĀTŅU FAKULTĀTE
VIDES ZINĀTNES NODAĻA

ILGTERMIŅA GAISA PIESĀRŅOJUMA IZMAIŅU
NOVĒRTĒJUMS RĪGAS PILSĒTĀ PĒC LIHENOINDIKĀCIJAS

MAĢISTRA DARBS

Autors: Līva Luīze Bajāre

Stud. apl. nr.: lb17109

Darba vadītājs: Dr.biol., prof. Viesturs Melecis

RĪGA 2019

ANOTĀCIJA

Maģistra darbā atspoguļota ķērpju kā bioindikatoru nozīme gaisa kvalitātes noteikšanā. Darbā salīdzinātas gaisa piesārņojuma izmaiņas no 1964. gada līdz mūsdienām, izmantojot izdalītās ķērpju zonas Rīgas kartē. Veikta ordinācijas analīze un gaisa tīrības indeksa aprēķini. Secināts, ka lielāko pilsētas daļu aizņem trešā un ceturtais zona, otrā nemainīgi palikusi pārsvarā pilsētas centrā un piektā nemainīgi sastopama pilsētā nelielu saliņu veidā.

Atslēgas vārdi: lihenindikācija, Rīgas pilsēta, ķērpji, gaisa kvalitāte.

ANNOTATION

Master Thesis shows significance of lichens as air quality monitoring bioindicators. In the Thesis air pollution changes from 1964 till nowadays are compared, using division into lichen zones in Riga map. Ordination analysis and calculation of Atmospheric Purity index was made. It is concluded, that main part of the City is occupied by third and fourth zone, the second has unchangingly remained mostly in City center and the fifth is unchangingly present in the city as small islets.

Key words: lichenoidication, Riga City, lichen, air quality.

SATURA RĀDĪTĀJS

ANOTĀCIJA	2
ANNOTATION	3
IEVADS.....	5
1. EPIFĪTISKO ĶĒRPJU VISPĀRĪGS RAKSTUROJUMS.....	6
1.1. Latvijas lihenofloras raksturojums	7
2. BIOINDIKĀCIJAS METODES GAISA PIESĀRŅOJUMA NOTEIKŠANĀ	8
3. LIHENOINDIKĀCIJA – GAISA PIESĀRŅOJUMA KONTROLES METODE... 10	
3.1. Pētījumi pasaulē.....	11
3.2. Pētījumi Latvijā	12
4. ĶĒRPJUS IETEKMĒJOŠIE GAISA PIESĀRŅOJUMA KOMPONENTI	15
5. GAISA PIESĀRŅOJUMS RĪGAS PILSĒTĀ	17
.....	22
.....	23
6. MATERIĀLI UN METODES.....	25
6.1. Ilgtermiņa lihenoindikatīvo pētījumu datu apkopošana	25
6.2. Lihenoindikatīvo novērojumu aktualizācija	25
6.3. Datu analīze	27
7. REZULTĀTU ANALĪZE	29
8. DISKUSIJA	41
9. SECINĀJUMI.....	44
10. PATEICĪBAS	45
IZMANTOTĀ LITERATŪRA	46
PIELIKUMI.....	52

IEVADS

Mūsdienās līdz ar straujo globalizāciju un tehnoloģiju attīstību ir audzis arī apkārtējās vides piesārņojums, kas kaitē visai dzīvīvajai dabai – cilvēkiem, dzīvniekiem un arī augiem. Tā kā ķērpji jutīgi reaģē uz gaisa piesārņojumu tos var izmantot kā bioindikatorus. Ķērpju izmantošanu gaisa kvalitātes noteikšanā sauc par lihenoindikāciju un šī metode neprasa dārgas ierīces un speciālas zināšanas.

Izvirzīta hipotēze: Pēdējo 55 gadu laikā gaisa piesārņojuma koncentrācija Rīgā ir samazinājusies.

Darba mērķis: Novērtēt ilgtermiņa gaisa piesārņojuma izmaiņas Rīgas pilsētā pēc lihenoindikācijas datiem.

Darba uzdevumi:

1. Veikt lihenoindikatīvo pētījumu rezultātu apkopojumu Rīgas pilsētā laika periodā no 1964. gada līdz mūsdienām;
2. Veikt lihenoindikatīvo pētījumu dažās agrāk izdalītajās piesārņojuma zonās;
3. Novērtēt ķērpju kopējā seguma izmaiņas;
4. Veikt gaisa tīrības salīdzinājumu starp iepriekš izdalītajām zonām.

Maģistra darba apjoms ir 51 lapaspuse, neskaitot pielikumu. Darbā ietvertas 8 tabulas un 14 attēli.

1. EPIFĪTISKO ĶĒRPJU VISPĀRĪGS RAKSTUROJUMS

Ķērpji ir kompleksi organismi, tie sastāv no mikobionta, ko veido sēņu micēlija jeb sēņotnes hifas un fotobionta jeb zaļalģēm vai atsevišķām citām alģēm. Abi organismi atrodas ciešā savstarpējā mijiedarbībā, ko sauc par simbiozi (Dobson 2000). Lielākais vairums zinātnieku uzskata, ka starp abiem organismiem pastāv mutuālisms (simbiozes forma), kurš abiem organismiem ir savstarpēji nepieciešams (Brodo et al. 2003; Nash 2008), taču ir arī tādi, kas uzskata, to par parazitismu (Ahmadjian 1993).

Ķērpju enerģijas ieguves avots ir fotosintēze, taču autotrofās alģes veido tikai 5-10 % no ķērpja lapaņa. Pārējo daļu lielākoties veido asku sēne, vai retākos gadījumos bazīdijsēne, kas nodrošina ķērpja augšanai un attīstībai nepieciešamo resursu nokļūšanu līdz alģei un tādējādi regulē fotosintēzi kā arī veido ķērpja lapaņa formu. Sēne pasargā alģi no saules staru iedarbības un nodrošina tam stabilu ūdens un minerālvielu piegādi. Savukārt alģe sintezē ogļhidrātus, kurus daļēji absorbē sēne (Piterāns 1986; Brodo et al. 2003).

Ķērpji ir sastopami gandrīz visās sauszemes ekosistēmās, jo tie ir ilgstoši dzīvojoši organismi ar zemu izklīdes potenciālu un augstu jutību pret vidi, izmaiņām ainavu apsaimniekošanā un bijušiem ekoloģiskajiem traucējumiem, piemēram, ugunsgrēks. Epifītiskie ķērpji ir atkarīgi no klimatiskajiem parametriem, kas ir saistīti ar mežaudžu struktūru un to vēsturi. Kopumā svarīgākie ekoloģiskie faktori ir gaismas pieejamība, mizas pH, eitrofikācijas līmenis, nokrišņi, temperatūra un SO₂ koncentrācija gaisā (Scheidegger et al. 2002, Asta et al. 2002). Katrai ķērpju sugai ir savas specifiskas prasības pret vides apstākļiem, tāpēc daudzas ķērpju sugas ir ļoti jutīgas pret šo apstākļu izmaiņām (Fritz 2009).

Dažādu sugu kokiem dažādā vecumā un apstākļos ir raksturīga noteikta mizas pH reakcija, spēja uzglabāt un aizturēt mitrumu un struktūra, ar ko saistīta mikrobiotopu daudzveidība. Dažādās koka vecuma stadijās tā daļu īpašības var atšķirties, piemēram, stumbra pamatnē ir labvēlīgāki mitruma apstākļi, bet stumbra augšdaļā un uz zariem ir labāks apgaismojums. Katrai sugai ir citas prasības pēc gaismas un mitruma, tādēļ katra suga aizņem savu vietu uz koka. Tuvāk koka galotnei atrodamas gaismu mīlošās sugas. Veci koki ir īpaši svarīgi bioloģiskās daudzveidības saglabāšanā, jo tiem ir bieza, rievaina miza, uz kuras sastopams īpaši daudz sugu, jo mizas rievās ir vieglāk "nostiprināties" un tās lēnāk izžūst. Ķērpju sugu daudzveidība pozitīvi korelē ar koka krūšu augstuma caurmēru. Arī mizas spējai plaisāt un lobīties ir liela nozīme. Ķērpju veģetācijai ļoti nozīmīgi ir arī mizas pH, barības vielas, porainums, miecvielas, sveķi, mitruma daudzums un cietība (Barkman 1958). Turklāt koku miza ir atšķirīga ne tikai dažādām koku sugām, bet mainās pat vienam un tam pašam kokam atkarībā no vecuma, stumbra daļas, apgaismojuma un citiem faktoriem. Mizas ķīmiskajām īpašībām ir lielāka nozīme nekā fizikālajām īpašībām. Audzei kļūstot vecākai,

izmainās tās mikroklimats un līdz ar to arī mizas fizikālās un ķīmiskās īpašības, miza kļūst skābāka. Skābai videi priekšroku dod krevu ķērpji un tos var uzskatīt par stresolerantiem. Līdz ar vecumu dažādu sugu kokiem mizas fizikālās īpašības kļūst līdzīgas (Piterāns 1986).

Lai gan ķērpji aug uz visdažādākā substrāta, tomēr to vairums piemērojies tikai vienam vai vairākiem substrātiem. Atkarībā no substrāta uz kura tie aug, ķērpjus iedala vairākās grupās. Izšķir epigeīdus, kas aug uz augsnes, epilītus – uz akmeņiem un klintīm, epifītus – uz koku un krūmu mizas, epiksilus – uz apstrādātas koksnes, epibrioītus – uz sūnām, epifilus – uz mūžzaļo augu lapām un skujām, amfībiskos jeb ūdens ķērpjus – aug ūdens tuvumā vai ūdenī (Piterāns 1986).

Pēc morfoloģiskās struktūras ķērpjus iedala: krevu, zvīņu, lapu un krūmu ķērpjos. Veģetatīvo ķermeni sauc par laponi. Lapoņa krāsa ir svarīga pazīme ķērpju noteikšanā. Tie var būt gaiši pelēki, zilganpelēki, zaļganpelēki, dzeltenbrūni, retāk brūni, dzelteni vai oranži.

Epifīti var būt krevu, lapu un krūmu ķērpji. Uz dažādām koku sugām visbiežāk atrodama pūslīšu hipogimnija (*Hypogymnia physodes*), uz lapukokiem biežāk aug rievainā parmēlija (*Parmelia sulcata*) un citas sugas. No krūmu ķērpjiem uz kokiem bieži aug īsmatainā usneja (*Usnea hirta*), briorijas (*Bryoria*), plūmju evernija (*Evernia prunastri*). No krevu ķērpjiem uz lapu kokiem biežāk aug - lecidellas, lekanoras, rakstu ķērpis (Piterāns 1986).

Ķērpji var vairoties veģetatīvi ar sorēdijām un izīdijām, bezdzimumiski ar piknosporām vai konīdijsporām vai dzimumiski ar askusporām. Ķērpjiem vairojoties veģetatīvi ir zināmas priekšrocības salīdzinājumā ar dzimumisko vairošanos, jo šeit jau ir kopā sēņu hifas un aļģu šūnas (Piterāns 1986).

Ķērpji ir atzīti kā labi bioindikatori, un tos izmanto pētnieki daudzās pasaules valstīs (Brodo 2001; Coppins 2002). Arī Latvijā vairāk nekā 40 ķērpju sugas tiek izmantotas kā bioindikatori, tās ir iedalītas 4 klasēs, kas raksturo gaisa kvalitāti – tīra gaisa ķērpji, maznozīmīga piesārņojuma, mērena piesārņojuma un piesārņotas vides ķērpji (Auniņš 2013, Ķērpju noteicējs, Latvijas daba bez. dat.).

1.1. Latvijas lihenofloras raksturojums

Latvijā līdz 2015. gadam konstatētas 687 ķērpju sugas. Latvijā ķērpju sugu aizsardzību regulē Sugu un biotopu aizsardzības likums, kurš iekļauj noteikumus par īpaši aizsargājamo sugu un ierobežoti izmantojamo īpaši aizsargājamo sugu sarakstu. Īpaši aizsargājamo sugu sarakstā Latvijā ir iekļautas vairāk nekā 60 ķērpju sugas. Mikroliegumu izveidošanas, aizsardzības un apsaimniekošanas noteikumos ir ietvertas 37 ķērpju sugas, kurām ir izveidojami mikroliegumi (Moisejevs 2016).

2. BIOINDIKĀCIJAS METODES GAISA PIESĀRŅOJUMA NOTEIKŠANĀ

Vides kvalitātes novērtēšanas metodes nosacīti var iedalīt fizikālās, ķīmiskās un bioloģiskās. Fizikālās un ķīmiskās metodes ir daudz dārgākas nekā bioloģiskās un tās prasa īpašu sagatavošanos un kompleksas iekārtas (Stravinskienė 2005).

Polijas pirmais biomonitoringa pētnieks Krakovā veica vietēja mēroga pētījumus, kuros kā bioindikatorus izmantoja sūnas. Sūnas tiek izmantotas gaisa piesārņojuma analīzēs (Grodzińska et al. 1999).

20. gs. 80. gados Polijā veica atmosfēras gaisa bioindikāciju izmantojot augu reakcijas (fitoindikācija), lai noteiktu vara klātbūtni un tā ietekmi (Fabiszewski et al. 1987). 1986. gadā veikts pētījums, novērtējot cementa un kaļķu nozares piesārņojuma ietekmi uz ķērpjiem (Cieśliński, Jaworska 1986). 1988. gadā veikts pētījums, novērtējot gaisa piesārņojumu ar smagajiem metāliem un radionuklīdiem, izmantojot ķērpjus (Seaward et al. 1988).

Trijās Eiropas pilsētās (Zalcburga, Belgrada un Saloniki) tika savākta koku miza un lapas/skujas no piesārņotām un nepiesārņotām teritorijām, lai noteiktu smago metālu koncentrāciju tajās, savstarpēji salīdzināti iegūtie rezultāti. Lapas/skujas un mizas tika savāktas vienādos daudzumos aptuveni 30 g katra parauga. Analīze tika veikta ar atomu absorbcijas spektrometriju pēc pilnīgas izšķīdināšanas. Augstākās koncentrācijas bijušas Belgradā ievāktajiem paraugiem, tad sekoja Saloniki un Zalcburga. Salīdzinot ar lapām/skujām, mizā konstatēja lielāku smago metālu uzkrāšanos. Melnās priedes mizā bija augstākas mikroelementu koncentrācijas, salīdzinot ar platānas mizu, tāpēc priede izmantojama kā efektīvāks bioindicators pilsētu piesārņojuma noteikšanā. Abas indikatoru sugas ir piemērotas salīdzinošiem pētījumiem par pilsētas gaisa piesārņojuma bioindikāciju (Sawidis et al. 2011).

Kādā citā pētījumā Aleppo priedes (*Pinus halepensis* Mill.) skujās noteikts fenola, proantocianidīna un flavonolu saturs, lai noskaidrotu, vai to tās var izmantot kā bioindikatoru gaisa piesārņojuma noteikšanai ar šīm vielām. Paraugi tika ņemti piecās vietās, kas ar dažādu piesārņojumu (NO, NO₂, NO_x, SO₂ un O₃). Rezultāti parādīja kopējo fenola koncentrāciju samazināšanos līdz ar slāpekļa oksīda piesārņojuma pieaugumu (būtiskas negatīvas korelācijas starp kopējo fenola koncentrāciju un NO, NO₂ un NO_x koncentrācijām). Kopējie flavonoīdi (kopējie flavonoli un proantocianidīni) ir noderīgi ozona piesārņojuma bioindikatoru (būtiskas negatīvas korelācijas starp kopējo proantocianidīnu un ozona koncentrāciju un būtiskas pozitīvas korelācijas starp kopējo flavonolu un ozona piesārņojumu). Sēra dioksīda piesārņojums būtiski negatīvi korelēja ar kvercetinā, izoramnetinā un kaempferola

koncentrācijām. Šis darbs apliecina fenola savienojumus kā gaisa kvalitātes bioloģisko indikatoru nozīmi priežu (*Pinus halepensis*) skuļās (Robles et al. 2003).

Krievijas ziemeļrietumos kādā pētījumā mērīta metālu koncentrācija bērzu lapās. Lai gan bērzos uzkrājies salīdzinoši mazāk piesārņojošo vielu nekā skujkokos, bērzu izturība pret piesārņojumu padara tos par iespējamu vides pētījumu rādītāju, jo tie saglabājas pat tajās teritorijās, kur skujkoki ir pazuduši (Kozlov et al. 1995).

Polijas pilsētā Oļešnicā tika veikts pētījums par automobiļu emisiju ietekmi uz augsni un augiem, jo tas šajā pilsētā ir praktiski vienīgais gaisa piesārņojuma avots. Eksperimentālais augs bija robīnija (*Robinia pseudoacacia*), tā lapas, miza un augsne, kurā tā auga, kontrolē vietā tika mērītas Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb un Zn koncentrācijas. Parauglaurumi tika izvēlēti balstoties uz satiksmes intensitātes karti. Tika secināts, ka miza ir labāks ilgtermiņa kumulatīvās satiksmes piesārņojuma bioindicators pētītajā teritorijā, bet lapas ir labas īstermiņa sezonālās uzkrāšanās bioindicators (Samecka-Cymerman et al. 2009). Arī Parastā īve (*Taxus baccata*) tikusi izmantota kā bioindicators vides piesārņojuma noteikšanā pilsētā (Samecka-Cymerman et al. 2011).

Piezemes ozona līmeņa bioindikācijai izmantota puķu tabaka (Sun, Kang 2003) vai Sīrijas hibisks (*Hibiscus syriacus*) (Paoletti et al. 2009). Ozons augstās koncentrācijās rada puķu tabakas lapu bojājumus (Heggstad, Middleton 1959).

Lihenoindikācija ir bioloģiskās indikācijas metode, kas ļauj novērtēt vides kvalitāti pēc ķērpjiem, to projektīvā seguma un sugu sastāva izmaiņām (Stravinskienė 2005).

3. LIHENOINDIKĀCIJA – GAISA PIESĀRŅOJUMA KONTROLES METODE

Metodi, kura balstās uz ķērpju kā bioindikatoru izmantošanu, gaisa piesārņojuma noteikšanā, sauc par lihenoindikāciju. Tā tiek plaši pielietota, lai noteiktu piesārņojuma līmeni dažādās pilsētas teritorijās, jo ķērpji reaģē uz gaisā esošajām piesārņojošām vielām. Dažādas ķērpju sugas atšķirīgi reaģē uz gaisa piesārņojumu – jutīgākās sugas izzūd pat neliela piesārņojuma gadījumā, turpretī izturīgākās sugas spēj eksistēt vēl samērā augstā gaisa piesārņojumā. Datus var ievākt visu cauru gadu un nav nepieciešami speciāli mērinstrumenti.

Lai precīzāk nodalītu piesārņojuma zonas, uzmanība vienlīdz jāpievērš gan jutīgākajām, gan mazāk jutīgajām sugām. Krūmu ķērpji augs pārsvarā tīrā gaisā, lapu ķērpji arī mērenā piesārņojumā, taču augstā gaisa piesārņojumā būs spējīgi izdzīvot tikai kreves ķērpji (līdz zināmai robežai) (Ķērpju noteicējs, Latvijas daba bez. dat.).

Ir izstrādātas dažādas ķērpju izmantošanas metodes, lai noteiktu gaisa piesārņojumu. Metodes izvēle ir atkarīga no mērķa, apsekojamās teritorijas platības, pētījumu jomas, pieejamiem resursiem un iespējas iegūt nepieciešamos datus. Iegūstot datus, par esošo situāciju vai par izmaiņām ķērpju sugu sastopamībā vai segumā, datus var izmantot dažādu pakāpju analizēm, ko izmanto, lai izveidotu kartes, noteiktu zonas un rādītājus, kas nosaka gaisa kvalitāti. Pie šīm metodēm minamas:

- transplantācijas metode, kuru bieži izmanto, lai novērtētu ietekmi uz gāzveida gaisa piesārņojumu. Nepiesārņotā vidē no koka stumbra izgriež mizas gabaliņu ar visiem uz tā augošajiem ķērpjiem, un pārvieto to uz pētāmo vietu, sekojot līdzī ķērpju izmaiņām (Nimis et al. 2002).
- kartēšana ir vienkārša un lēta metode, lai noteiktu piesārņojumu. Tajā izdala dažāda piesārņojuma līmeņa zonas. Pētījumi var būt saistīti ar punktveida emisijas avotiem, piemēram, spēkstacijām, rūpnīcām, vai vispārēji, piemēram, pilsētas teritorijas vai ražošanas kompleksi. Jābūt zināšanām par ķērpju jutīgumu attiecībā uz atmosfēras piesārņojumu. Veicot lihenoindikatīvos pētījumus, ir jāņem vērā fakts, ka pētāmos parametrus (sugu sastopamība, procentuālais segums) bez gaisa piesārņojuma var ietekmēt arī citi faktori, piemēram, ainavas izmaiņas, dabas apstākļu variācija konkrētajā pētījumu reģionā u. c. (McCarthy 2004).
- gaisa tīrības indeksa (IAP – *Index of Atmospheric Purity*) aprēķinus izmanto piesārņojuma ietekmes noteikšanā uz ķērpju sabiedrībām. Tā ir kvantitatīva fitosocioloģiskā pieeja, kas balstās uz datiem par ķērpju seguma un sugas

toksitolerances faktoru. Formulu izstrādāja un pirmo reizi aprakstīja Leblanks un De Slūvers (LeBlanc, De Sloover 1970). Šī metode sīkāk aprakstīta nodaļā “Materiāli un metodes”.

- fitosocioloģiskas metodes pēta ķērpju asociācijas, nevis atsevišķo sugu izmaiņas. Gaisa piesārņojuma rezultātā novērojams ķērpju seguma un sugu sastāva samazināšanās. Tiek izmantota īpaša skala (1-14 balles), kas raksturo ķērpju jutīgumu pret gaisa piesārņojumu (Agneta et al. 1986).
- elementu bioakumulācijas pētījumos netiek vērtēta piesārņojuma faktiskā ietekme uz ķērpjiem, bet gan piesārņojošo vielu koncentrācija ķērpjos konkrētajā reģionā (Garty et al. 1985; Hissler et al. 2008).

3.1. Pētījumi pasaulē

Londonā ķērpju floras pētījumi saistībā ar gaisa piesārņojumu tika uzsākti jau 19. gadsimtā. Tajā laikā ķērpju izplatības samazinājums tika saistīts ar gaisa piesārņojumu ar SO₂, kas gaisā nonāca ogļu dedzināšanas rezultātā. Pētījumus turpinot, tika noskaidrots, ka līdz ar sēra dioksīda samazināšanos mūsdienās ķērpju floru ietekmē arī autotransports (NO_x) (Laundon 1967).

Ķīnas pilsētā Hong Kongā tika veikts pētījums, izmantojot lihenoidikāciju, kura rezultātā tika izveidota gaisa kvalitātes karte, kurā izdalītas 6 piesārņojuma zonas (Thrower 1980).

Vairākās Itālijas pilsētās veikti lihenoidikācijas pētījumi (Loppi et al. 2002; Nali et al. 2007). Romā veikti pētījumi laika posmā no 1982. līdz 2003. gadam par ķērpju sugu daudzveidību. Līdztekus gaisa piesārņojumam kā viens no vissvarīgākajiem faktoriem, kas ietekmēja ķērpju daudzveidību izrādījās blakus esošā Tirēnu jūra. Ķērpju florā pēdējo 20 gadu laikā novērotas būtiskas izmaiņas, vismazākā to sugu daudzveidība konstatēta pilsētas centrā kā arī austrumu un dienvidu sektoros, savukārt „ķērpju tuksneša” zona ir samazinājusies līdz ar gaisa piesārņojošo vielu, CO, NO_x, SO₂, samazinājumu (Munzi et al. 2007).

Slovēnijā pētījumi veikti un apkopoti valsts mērogā. Ķērpju kartēšanas rezultāti apvienoti ar mikroelementu kvantitatīvajiem līmeņiem *Hypogymnia physodes* (L.) Nyl. ķērpjos, tika aprēķināts gaisa tīrības indekss (IAP). No šiem rezultātiem var secināt, ka epifītisko ķērpju flora ir diezgan nabadzīga un vairāk nekā 70 % teritorijas atrodas ceturtajā un trešajā zonā, kas atbilst piesārņotam un vidēji piesārņotam gaisam. Salīdzinot IAP rezultātus ar elementu

līmeņiem šīs sugas ķērpjos, izmantojot daudzfaktoru statistiskās metodes, tika konstatēts, ka elementu līmeņiem nav tiešas negatīvas ietekmes uz ķērpju daudzveidību, bet to koncentrāciju sadalījuma izpēte var palīdzēt noskaidrot iespējamo piesārņojuma avotu veidu un to izcelsmi (Jeran et al. 2002).

Gaisa kvalitātes novērtējums Francijā Grenobles pilsētā tika veikts, izmantojot atmosfēras tīrības indeksu (IAP). Astoņdesmit trīs epifītiskās ķērpju sugas un divas aļģes tika reģistrētas un iedalītas trīs ekoloģiskajās kategorijās, kas noteiktas pēc mizas veida un barības vielu vajadzībām: nitrofītiskās, neitrofītiskās un acidofītiskās sugas. Lai izveidotu gaisa kvalitātes karti, IAP vērtības, kas svārstās no 5,9 līdz 71,7 tika iedalītas piecās kategorijās. IAP kartes neparādīja skaidru saikni ar vietējiem piesārņojuma avotiem, piemēram, ceļa vai rūpniecības tuvumā, un tas nebija saistīts arī ar gada vidējām SO₂, NO₂ un NO vērtībām 1994. – 1997. gados. Tika pierādīts, ka IAP ir atšķirīgs atkarībā no ķērpju sugu ekoloģisko grupu relatīvā īpatsvara. Tika parādīta arī korelācija starp nitrofītiskajām sugām un vides antropogēnizācijas pakāpes.

Turklāt ir pierādīts, ka IAP, kas sākotnēji radīts, lai raksturotu atmosfēras piesārņojuma pakāpi izmantojot ķērpju floru, ietekmē vēl arī citi parametri, piemēram, ainavas faktori (Gombert et al. 2004).

Lietuvas pilsētā Klaipēdā epifītisko ķērpju pētījumi tika veikti no 2004. līdz 2005. gadam apdzīvotās vietās ar atšķirīgu urbanizācijas līmeni - parks, mežs un pilsētas zaļajās zonās. Vislielākais ķērpju sugu skaits - četrdesmit divas tika atrasts Rietavas parkā. Visās trijās zonās dominēja 14 ķērpju sugas. Tika konstatēts, ka gaisa piesārņojuma līmenis Rietavas parkā ir zems (AQV vērtība bija 43,5), pilsētas zaļajās zonās vidējs (AQV = 28,8) un mežā zems (AQV = 36,8) (Nekrošienē 2012).

Malaizijas pilsētā Klang veiktajā pētījumā, tika apsekoti 20 parauglaukumi, no kuriem 5 parauglaukumi identificēti kā piesārņoti, 12 kā mēreni piesārņoti un 3 kā tīra gaisa apgabali. Tīrā gaisa teritorijā netika identificēta jebkāda veida satiksme. Lielākā daļa šo teritoriju ir atpūtas parki un ciemati (Abas, Awang 2018).

3.2. Pētījumi Latvijā

Arī Latvijā vairākās pilsētās ir veikti lihenoidikatīvie pētījumi.

1994. un 1999.gadā Salacgrīvā tika veikta lihenoidikācija, lai noteiktu gaisa piesārņojuma līmeni, izmantojot ķērpjus kā bioindikatorus. Pētījuma veikšanai izmantoja gaisa

tīrības indeksa (IAP) metodi. Pilsētas teritorija sadalīta 36 kvadrātos, tie apsekoti un ievākti dati. Rezultātā izdalītas 4 gaisa piesārņojuma zonas. Pirmā zona ar augstu gaisa piesārņojumu aizņēma 2,8% pilsētas teritorijas, IAP. vērtība šajā zonā bija 21,37. Otrā zona ar vidēju gaisa piesārņojumu 1994. gadā aizņēma 52,8% pilsētas teritorijas, bet 1999. gadā 58,3% pilsētas teritorijas. Ievērojamu piesārņojuma daļu šajā zonā deva arī automašīnu izplūdes gāzes. Trešā zona ar zemu gaisa piesārņojuma līmeni 1994. gadā aizņēma 33,3% pētāmās teritorijas. Ceturtā zona ar tīru gaisu izvietojās saliņu veidā pilsētas nomalēs un 1999. gadā aizņēma 11,1% pilsētas teritorijas. Zonas aizņemtā teritorija 1999. gadā, salīdzinot ar 1994. gadu, nav samazinājusies, kas ir ļoti pozitīva tendence (Salacgrīvas novada dome 2015).

Jelgavā tika veikta gaisa kvalitātes kartēšana 1996. gadā un atkārtota 2006. un 2016. gadā pēc vienotas metodikas, izmantojot lihenoindikāciju. Karte sākotnēji bija sadalīta 104 parauglaukumos, pēdējo gadu pētījumos pievienots vēl 21 parauglaukums. Rezultātā izdalītas 3 gaisa piesārņojuma zonas: I augsta piesārņojuma jeb ķērpju izdzīvošanas zona ar stipri ierobežotu ķērpju segumu (IAP no 0–110); II vidēja piesārņojuma jeb pārejas zona ar ierobežotu ķērpju segumu (IAP no 111 – 200); III zema piesārņojuma jeb dabas vides zona, kas bagāta ar ķērpjiem (IAP lielāks par 200). Augsta gaisa piesārņojuma zona 2016. gadā aizņēma 2,75% no pilsētas teritorijas, vidēja gaisa piesārņojuma zona 44,0%, savukārt zema gaisa piesārņojuma jeb tīra gaisa zona aizņēma vairāk kā pusi no pilsētas teritorijas jeb 53,25%. Salīdzinot ar iepriekšējiem rezultātiem 1996. un 2006. gadā pilsētas centrā tīra gaisa zona aizņem tikai 3 km² jeb 23,08% platības, turklāt tai ir tendence samazināties (attiecīgi 1996. un 2006. gadā – 5,75 km² jeb 44,25% un 5 km² jeb 38,46%) (Pilecka 2017).

Daugavpils pilsētas parkos un zaļajās zonās lihenoindikatīvā pētījuma ietvaros tika ievākti dati, skatītas krūmu un lapu ķērpju sugas un izvērtēti ķērpju augšanas apstākļi. Secināts, ka Daugavpils gaisa kvalitāte atbilst nelielam piesārņojumam. Daugavpils parkos un skvēros ķērpju seguma pakāpe uz kokiem ir diezgan augsta, tā svārstās no 20 – 40%. Krevju un lapu ķērpju sugas ir plaši izplatītas, konstatēta arī viena krūmu ķērpju suga – Plūmju evernija (*Evernia prunastri*), kas liecina par mazu gaisa piesārņojumu. Pētījumā tika noskaidrots, ka ķērpju seguma pakāpi ietekmē ne tikai ķīmiskie faktori – piesārņojums, bet arī fizikālie – apgaismojums (Prokopoviča, Mičule 2012).

Plūviņu pilsētā apsekojot 39 parauglaukumus, tika konstatētas 22 epifītisko ķērpju sugas. Visbiežāk sastopamās sugas bija *Xanthoria parietina*, *Hypogymnia physodes*, *Phlyctis argena* un *Phaeophyscia orbicularis*, bet ļoti reti sastopamas un sugas, kas atrastas tikai 1 parauglaukumā - *Graphis sripta*, *Hypocenomyce scalaris*, *Parameliopsis ambigua*, *Parameliopsis hyperopta*, *Lecanora carpinea* un *Cladonia fimbriata*. Sugām, kas ir sastopamas

visbiežāk toksitolerances faktors ir 8-9 robežās. Apkopojot pētījuma rezultātus tika izdalītas četras ķērpju veģetācijas zonas, kas raksturo gaisa piesārņojuma pakāpi, jo lielāka IAP vērtība, jo tīrāks gaiss. Pirmā zona jeb bezķērpju zona netika konstatēta, jo katrā parauglaukumā bija novērotas vismaz 5 ķērpju sugas, otrā zona - ar stipri ierobežotu ķērpju izplatību, aizņem 10,26% no apsekotajiem parauglaukumiem, trešā zona - ar ierobežotu ķērpju izplatību, aizņem 40,025%, ceturtnā zona - ķērpjiem bagāta zona, aizņem 40,025%, piektā zona – ķērpjiem ļoti bagāta zona, aizņem 7,69%. Lihenoindikācijas rezultāti parādīja, ka epifītisko ķērpju izplatību pilsētā būtiski ietekmē autotransporta radītais piesārņojums. Šosejas malā un dzelzceļa apkārtnē tika novērots mazāks ķērpju sugu skaits un projektīvais segums nekā parku un mežu teritorijās (Znotiņa 2016).

Vietavas pagastā veiktajā pētījumā secināts, ka 19% no teritorijas atbilst 3. zonai ar mēreni piesārņotu gaisu, bet 81% 4. zonai ar nenozīmīgu gaisa piesārņojumu. Meža teritorija un pagasta nomale netika pētītas, tāpēc dati par tām tika ekstrapolēti no tuvāko teritoriju datiem. Lielākie piesārņojuma avoti izvietoti ap zemes ceļiem un pagasta centrā, jo tur atrodas katlumāja un ir lielāks iedzīvotāju blīvums, lielāks automašīnu skaits. Novērtējot ķērpju projektīvo segumu pret dažādām debespusēm vērstos stumbru segmentos, konstatēts, ka vidēji vislielākais ķērpju projektīvais segums ir stumbra austrumu un dienvidu pusē, kas skaidrojams ar to, ka tie tiecas pēc gaismas. Vismazākais ķērpju procentuālais segums ir Z puses segmentā (Knēģere 2009).

Pētījumi veikti arī citās Latvijas pilsētās, piemēram, Smiltēnē (Ābele 2013), Rēzeknē (Semjonova 2012), Alūksnē (Skaliņa 2010).

4. ĶĒRPJUS IETEKMĒJOŠIE GAISA PIESĀRŅOJUMA KOMPONENTI

Ķērpji var izdzīvot gandrīz visās klimata zonās, bet tie ir ļoti jutīgi pret gaisa piesārņojumu, īpaši sēra dioksīdu (SO₂) un slāpekļa dioksīdu (NO₂), jo dzīvības procesiem nepieciešamās barības vielas un ūdeni iegūst tieši no atmosfēras nokrišņiem (Asta et al. 2002; Fuga et al. 2008; Conti et al. 2001). Pilsētas gaisa piesārņotības pakāpi dažādos rajonos labi raksturo ķērpju zonas. Katra zona raksturojas ar noteiktu ķērpju sugu sastāvu (Piterāns, Bērziņa 1990). Tie jutīgi reaģē arī uz mikroklimata izmaiņām, tāpēc ķērpjus izmanto gan atmosfēras monitoringā (lihenindikācija), gan citos vides pētījumos (Piterāns 1986; Will-Wolf et al. 2002).

Ķērpju attīstība un izplatība ir atkarīga no dažādiem ekoloģiskiem faktoriem - nokrišņiem, gaisa mitrums, gaismas un potenciālās iztvaikošanas (Will-Wolf et al. 2002). Šie resursi arī nosaka ķērpju sugu sastāvu un lielumu (John, Dale 1995). Eiropā ķērpju sugu daudzveidība un sugu izplatības areāli ir sarukuši vai suga ir izzudusi, jo ķērpji ir jutīgi pret faktoriem, kurus izraisījusi cilvēka darbība, piemēram, piesārņojums, mežsaimnieciskās darbības izraisītās izmaiņas (Sillett, Goslin 1999; van Herk 1999).

Ķērpji akumulē piesārņojumu no apkārtējās vides dažādos veidos – daļiņu absorbcijā, jonu apmaiņā, hidrolīzē, elektrolītu absorbcijā un citos veidos. Tiem nav aizsargājoša audu slāņa un bioķīmisku kaitīgo vielu izvades mehānismu, tāpēc atzīti par labiem indikatoriem gaisa piesārņojuma noteikšanā (Asta et al. 2002; Purvis et al. 2007), tie ātri reaģē uz apkārtējā gaisa kvalitātes izmaiņām – ja gaisā palielinās piesārņojošo vielu daudzums, tas attiecīgi palielinās arī ķērpjos (Tiwari 2008).

Jutība pret specifiskiem piesārņotājiem un to ietekmes mehānismi ir apskatīti daudzos pētījumos (Belnap et al. 1993). Sēra dioksīda (SO₂) un ozona ietekmes rezultātā samazinās elpošana, pavājinās fotosintēze, palielinās membrānu caurlaidība, rodas K⁺ jonu pārmērīga uzkrāšanās šūnās un veidojas ultrastruktūras izmaiņas. Slāpekļa oksīdu ietekmē samazinās hlorofila daudzums (Belnap et al. 1993). Smagie metāli veicina membrānu un hlorofila degradāciju, samazina fotosintēzes efektivitāti un rada ultrastruktūras izmaiņas (Garty 2001; Bačkor, Dzubay 2004). Bojājumus aļģes komponentam ķērpjos raksturo hlorofila daudzuma samazināšanās, kā rezultātā vēlāk iet bojā viss ķērpja laponis (Batts et al. 2004).

Arī svētku salūts gaisu piesārņo ar sēra dioksīdu un smalkajām pelnu daļiņām, kas satur metālus, ieskaitot veselībai bīstamos - svinu, kadmiju un bāriju. Transports rada aptuveni 70%

gaisa piesārņojuma, galvenokārt paaugstinātu slāpekļa dioksīda (NO₂) un cieto daļiņu (PM₁₀, PM_{2,5}) piesārņojumu.

Gaisa piesārņojuma avoti var būt gan antropogēni, gan dabīgi. Galvenie antropogēnie avoti ir fosilo degvielu sadedzināšana elektrības ražošanā, transportā, rūpniecībā un mājāsaimniecībās, rūpnieciskie procesi, lauksaimniecība un atkritumu apstrāde. Piesārņojošās vielas ietekmē gan gaisa kvalitāti, nokrišņu ķīmisko sastāvu, vielu nosēdumus uz augsnes un ūdeni, kā arī rada augsnes paskābināšanos, eutrofikāciju un piezemes ozona veidošanos. Latvijai ir noteiktas kopējās valstī pieļaujamās emisijas gaisu piesārņojošām vielām – sēra dioksīdam, slāpekļa oksīdiem, gaistošajiem organiskajiem savienojumiem un amonjakam, lai samazinātu pārrobežu pārnesei (Latvijas vides ģeoloģijas un meteoroloģijas centrs 2019).

Gaisa kvalitātes rādītāju ir daudz, bet ir pieci, kurus kontrolē regulāri un mēra automātiski - sēra dioksīdu (SO₂), slāpekļa dioksīdu (NO₂), ozonu (O₃), oglekļa dioksīdu (CO₂) un divu izmēru cietās daļiņas PM₁₀ un PM_{2,5}. Tie ir piesārņojuma veidi, kas visbūtiskāk var ietekmēt cilvēku veselību un vidi.

Latvijā oglekļa dioksīda (CO₂) emisija no 2000. – 2010. gadam ir samazinājusies par aptuveni 35%. Kā galvenais faktors minams kurināmā intensitātes samazināšanās par 33%, ko noteica fosilā kurināmā aizvietošana ar atjaunojamiem energoresursiem. Energointensitāte šajā laika periodā ir samazinājusies tikai par 3%. Lai nākotnē nodrošinātos pret strauju SEG emisiju pieaugumu rūpniecībā, nozaru attīstībā pastiprināta uzmanība ir jāpievērš energoefektivitātei, ražošanas efektivitātei un atjaunojamo resursu izmantošanai. Latvijā lielāko daļu gaisa piesārņojošo emisiju rada tādas rūpniecības nozares kā pārtikas rūpniecība, kokrūpniecība, metālu ražošana un metālapstrāde. Kopš 2007. gada gaisa piesārņojums ir pieaudzis, galvenokārt tas ir zemās ražošanas produktivitātes un augstās energointensitātes dēļ (Zemkopības ministrija 2015).

PM₁₀, PM_{2,5} tiešā veidā ķērpjus gandrīz neietekmē, jo tiem nav elpošanas orgānu. Saskaroties ar cietajām daļiņām ķērpjos nokļūst citi piesārņotāji, piemēram, smagie metāli (Nash 2008). Vairāki pētījumi parāda, ka ķērpji ir jutīgi arī pret gaistošajiem organiskajiem savienojumiem (Catala et al. 2013). Gandrīz visu piesārņotāju un smago metālu iedarbības rezultātā lielākā vai mazākā apmērā tiek bojāts ķērpja fotosintēzes mehānisms, un samazinās tajos esošais hlorofila daudzums. Hlorofila degradācijas rezultātā veidojas cits pigments – feofitīns, abu pigmentu daudzuma attiecības nosaka piesārņojuma radīto bojājumu apmēru konkrētā ķērpja laponī (Nimis et al. 2002).

5. GAISA PIESĀRŅOJUMS RĪGAS PILSĒTĀ

Atmosfēras gaisa kvalitātes novērojumus Rīgā veic ar nepārtrauktās darbības gaisa piesārņojuma mērīšanas stacijām, katrā no šīm stacijām tiek noteikti galvenie gaisu piesārņojošo vielu rādītāji – daļiņas PM₁₀, sēra dioksīds (SO₂), slāpekļa dioksīds (NO₂), ozons (O₃), benzols, kā arī ozona prekursori - toluols un ksilols. Bez galvenajiem piesārņojošo vielu rādītājiem, tiek veikta arī smago metālu (svina (Pb), kadmija (Cd), niķeļa (Ni) un arsēna (As)) koncentrāciju noteikšana, kas uzsākta 1993. gadā (Dabas aizsardzības pārvalde 2015).

Atmosfēras gaisa kvalitātes mērījumi Rīgā uzsākti jau 1967. gadā, sākotnēji analizējot galvenās gaisu piesārņojošās vielas, piemēram, sēra dioksīda (SO₂), slāpekļa dioksīda (NO₂), oglekļa monoksīda (CO) un cieto daļiņu mērījumus. 1970. gadā Rīgā bija pieci monitoringa punkti. 1979. gadā ieviesti arī fenola koncentrācijas mērījumi, bet 20. gs. 80. gados uzsākti citu gaistošo organisko savienojumu – formaldehīda, benzipirēna, hlorūdeņraža, amonjaka, tulola, ksilola un benzola koncentrāciju mērījumi. 1997. gadā, monitoringa sistēmai pilnveidojoties, uzsākti vēl arī vanādija, dzelzs, cinka, hroma un rubīdija mērījumi (Šteinberga 2007).

1980. gada sākumā veiktajā uzskaitē 241 Rīgas pilsētas uzņēmumā tika atklāti gandrīz 4,5 tūkstoši stacionāro piesārņojuma avotu. Šajā skaitā nav iekļautas apmēram 1500 mazās katlu mājas, kur tiek sadedzināts ap 100 tonnu kurināmā. Nav uzskaitīts arī piesārņojums, ko rada ēkas ar krāsns apkuri. Pēc apkopotajiem datiem (5.1.tab.) var secināt, ka atmosfēras piesārņojuma galvenais avots ir autotransports, kas rada vairāk nekā 70% no kopējā uzskaitītā piesārņojuma. Kuģu radītais piesārņojums bijis aptuveni 4,5 tūkstoši tonnu gadā un aviācijas radītais piesārņojums 0,4 tūkstoši tonnu gadā. Kopumā var apgalvot, ka galvenie gaisa piesārņotāji ir nestacionārie avoti. Stacionāro avotu radītais piesārņojums pilsētā ir vienmērīgi izkliedēts (Luļko 1990).

5.1.tabula

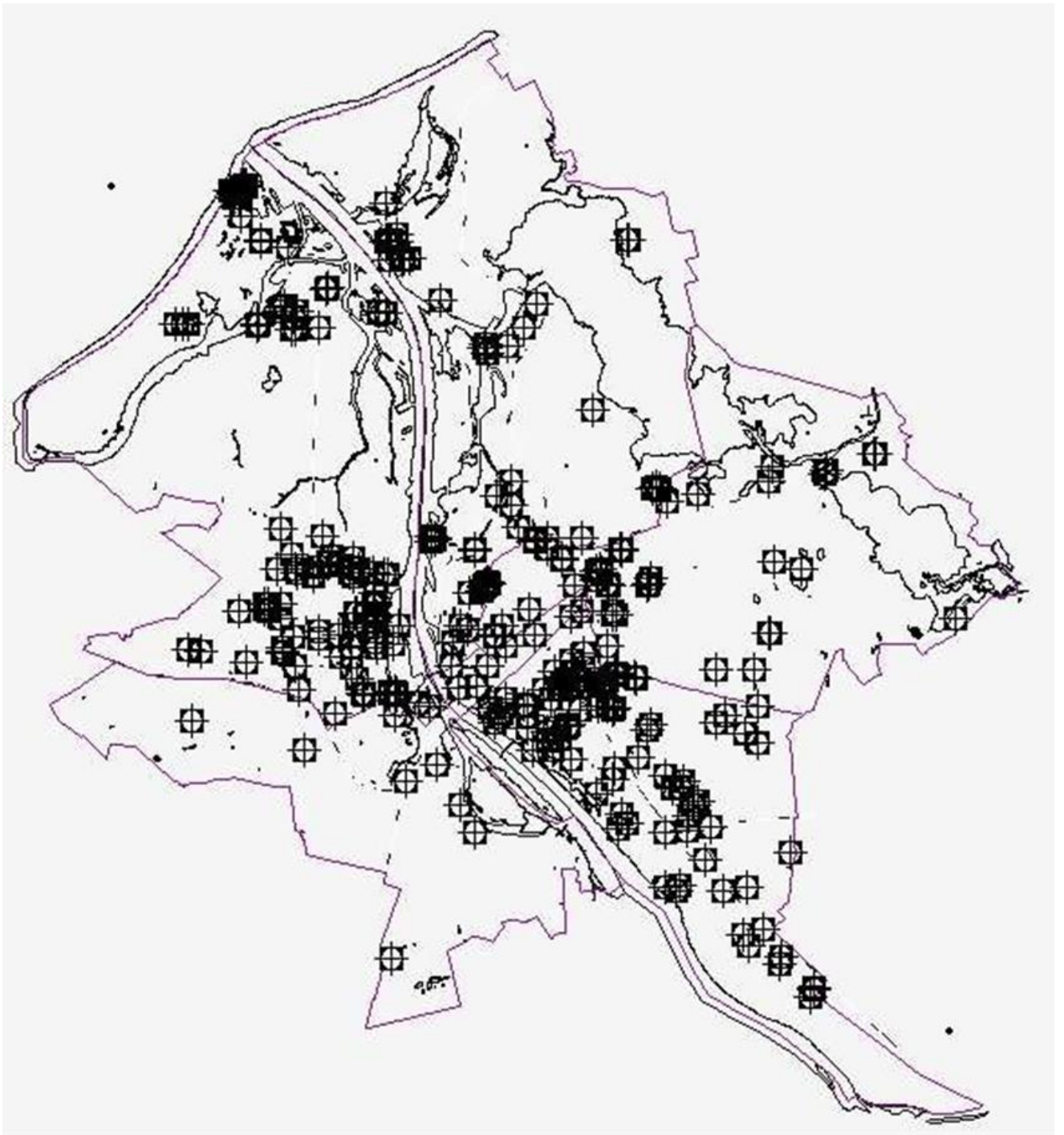
Rīgas pilsētas atmosfēras piesārņojums (tūkst. tonnu gadā) laika periodā no 1984.

līdz 1988. gadam (Luļko 1990)

Piesārņojuma avots	Gads				
	1984	1985	1986	1987	1988
Stacionārie avoti	45,0	45,0	42,0	40,0	37,3
Autotransports	143,5	100,5	100,5	97,7	107,1
Kopā	188,5	145,5	142,5	137,7	144,4

Dažādu nozaru katlu māju radītais atmosfēras piesārņojums ir 70% no visu stacionāro avotu radītā piesārņojuma. Rīgas pilsētā nav lielu rūpniecības uzņēmumu un esošie ir vienmērīgi izvietoti visā pilsētas teritorijā. Vislielāko piesārņojumu rada organiskā kurināmā sadedzināšana (Luļko 1990).

Rīgas stacionāro piesārņotāju skaits pēc 2002. gada datiem ir bijis mainīgs, robežās no 595-736. Šis skaits ir mainījies galvenokārt dažādu ekonomisku faktoru ietekmes dēļ, taču kopējais skaits ir liels un pārsniedz 600 avotu līmeni. Stacionāro piesārņojuma avotu izvietojums redzams 5.1. attēlā.



5.1. att. Visu reģistrēto stacionāro piesārņojuma avotu izvietojums (Rīgas pilsētas gaisa... 2004).

No esošajiem stacionārajiem piesārņojuma avotiem Rīgā slāpekļa dioksīda emisiju daudzums ir 845 t/gadā, sēra dioksīda – 703 t/gadā un oglekļa oksīda – 1504 t/gadā. Nav ticamu datu par cieto daļiņu un benzola emisiju daudzumu. Benzola piesārņojumu rada autotransports un naftas produktu pārkraušanas operācijas. Rīgas vēsturiskajā centrā un ielās ar intensīvu satiksmi benzola koncentrācijas 2002. gadā būtiski pārsniedz noteikto robežlielumu. Pēc

monitoringa rezultātiem var secināt, ka benzola koncentrācijas pilsētas centrā ir ievērojami augstākas nekā Brīvostas teritorijā, kur galvenais piesārņotājs ir naftas produktu pārkraušanas termināli (Rīgas pilsētas gaisa... 2004).

Vērtējot Rīgas pilsētas gaisa kvalitāti un monitoringa rezultātus (5.2. tab.), tiek secināts, ka no visiem gaisa piesārņotājiem, kas vērtējamas atbilstoši Eiropas Komisijas direktīvas normatīvajiem aktiem, slāpekļa dioksīds (NO₂) un cietās daļiņas PM₁₀ pārsniedz robežlielumus. Piesārņojumu iespējams samazināt ar tīrākas degvielas palīdzību un mājsaimniecību energoefektivitātes uzlabošanu.

5.2. tabula

Rīgas pilsētas PM₁₀ koncentrācija 2005. – 2010. gadā, μg/m³ (Kleperis et al. 2011)

Gaisa monitorings	2005	2006	2007	2008	2009	2010
Brīvības iela 73	54	54	53	48	38	38
Kr. Valdemāra iela 18	48	51	46	43	39	42
Viestura prospekts			33	23	20	
Tvaika iela	32	35	28	25	20	24

Rīgā veiktajā piesārņojošo vielu daudzuma analīzē 2008. – 2015. gadā, redzams, ka piesārņojošo vielu daudzums ir audzis, piemēram, benzolam, cietajām daļiņām un gaistošajiem organiskajiem savienojumiem. Laika gaitā audzis arī slāpekļa dioksīda daudzums, taču 2014. gadā tas atkal samazinājies (skat. 5.3. tabulu).

5.3. tabula

Piesārņojošo vielu daudzums Rīgas pilsētā 2008. – 2015. gadā (Rīgas Domes mājokļu un vides departaments 2016)

Piesārņojošā viela	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
	t/gadā							
Slāpekļa dioksīds	1202,81	1149	1198,36	1923,97	2052,96	2250,41	1343,78	1455,5
Slāpekļa (I) oksīds	0,06	0,04	0,06	0,09	0,09	0,05	0,05	0,05
Slāpekļa oksīdi (NO _x)	178,4	153,44	68,54	88,69	107,22	122,13	94,23	111,02
Daļiņas PM ₁₀	193,36	346,48	114,24	151,07	187,93	243,34	256,17	260,72
Gaistošie organiskie savienojumi (GOS)	538,28	271,18	398,74	541,54	540,05	751,19	828,05	839,66
Benzols	8,66	4,76	7,35	9,35	9,2865	11,29	19,58	17,3

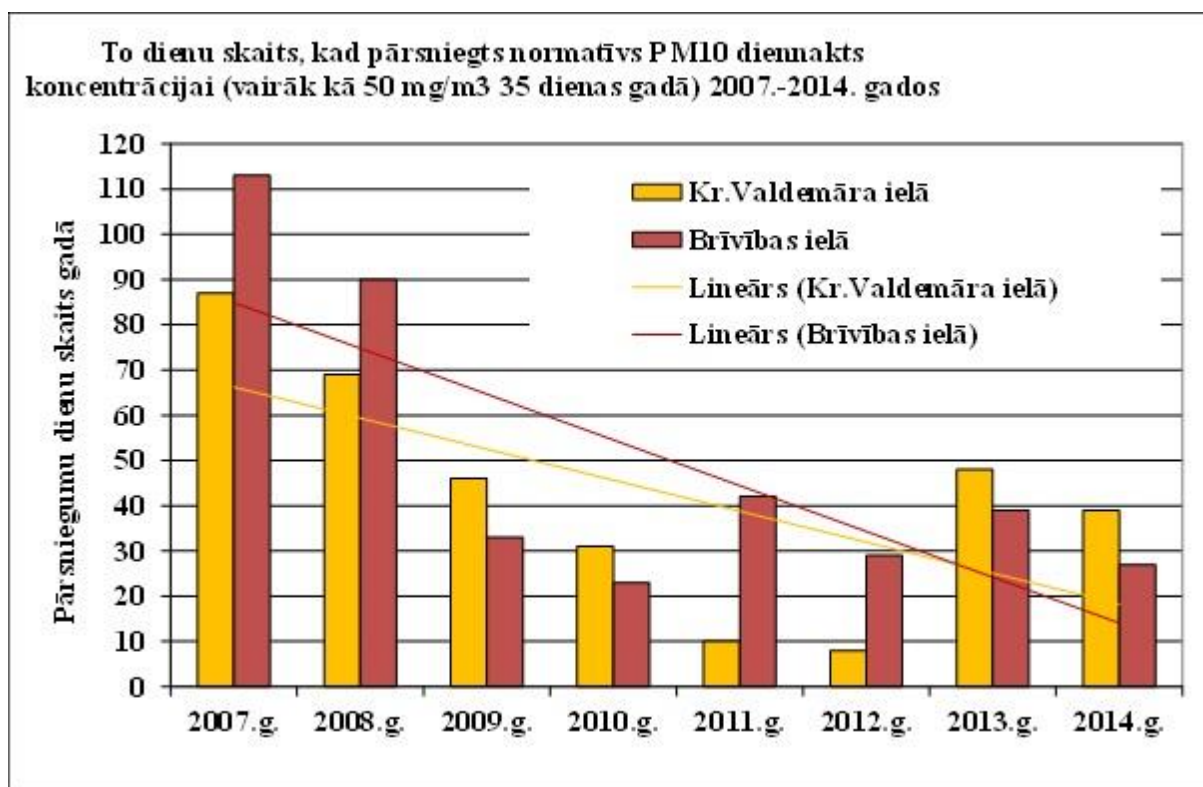
Slāpekļa oksīdi gaisā nonāk šķidrā un cietā kurināmā sadedzināšanas rezultātā, kā arī no automašīnu iekšdedzes dzinējiem. Degšanas procesā slāpekļis veido dažādus oksīdus, nozīmīgākais gaisa piesārņotājs no tiem ir slāpekļa dioksīds. Aptuveni 70% slāpekļa dioksīda (NO₂) gaisā nonāk no autotransporta (Rīgas vides aizsardzības fonds 2013).

Sēra dioksīda (SO₂) piesārņojumu rada privātmāju kurtuves un katli, kuros tiek dedzināts sēru saturošs kurināmais, un transportlīdzekļi, kuri izmanto dīzeļdegvielu. Sēra

dioksīda izmeši var tikt aiznesti tālu no izcelšanās vietas, tādēļ mērījumu vietās daļa piesārņojuma var būt atnesta no citiem rajoniem. Rīgā sēra dioksīda koncentrācijas nav pārsniegušas robežlielumus no 2004. līdz 2009. gadam (Rīgas vides aizsardzības fonds 2013).

2010. gada pētījumā secināts, ka slāpekļa dioksīdam (NO₂) un cieto putekļu daļiņām (PM₁₀) ir jāizstrādā koncentrāciju samazināšanas pasākumi (Kleperis 2010). Kaut arī tam ir tendence samazināties, pilsētas centrā, kur nav gaisa apmaiņa un galveno ceļu tuvumā slāpekļa koncentrācijas saglabājas augstas. Arī cieto daļiņu piesārņojums šajos rajonos pārsniedz noteiktos robežlielumus (50 μg/m³ diennaktī). Klimatiskie faktori, piemēram, nokrišņu daudzums, vēja virziens un stiprums ietekmē piesārņojošo vielu koncentrācijas gaisā (Rīgas vides aizsardzības fonds 2013).

Sakarā ar robežlielumu pārsniegšanu Rīgas dome ik pēc 5 gadiem izstrādā rīcības programmu gaisa kvalitātes uzlabošanai, slāpekļa dioksīda un daļiņu PM₁₀ koncentrācijas samazināšanai. Pateicoties šādai programmai cieto daļiņu PM₁₀ diennakts pārsniegumu skaits ir samazinājies (5.2. att.) (Gaisa kvalitāte bez.dat.).



5.2. att. PM₁₀ daļiņu piesārņojums Rīgas centrā no 2007. līdz 2014. gadam (Gaisa kvalitāte bez.dat.)

2012. gadā no Rīgā reģistrētajiem uzņēmumiem, piesārņojošo vielu emisiju daudzums sasniedza 3 393 tonnas, no kurām 2/3 sastāda slāpekļa dioksīds. Rīgas vides aizsardzības fonda

veiktais pētījums parāda piesārņojošo vielu daudzumu Rīgā 2008. – 2012. gadā (5.4.tab.), novērojama piesārņojuma daudzuma palielināšanās, piemēram, slāpekļa dioksīdam, slāpekļa oksīdam, PM_{2,5} un gaistošajiem organiskajiem savienojumiem.

5.4. tabula

Piesārņojošo vielu daudzums Rīgas pilsētā 2008. – 2012. gadā (Rīgas vides aizsardzības fonds 2013)

Vielas nosaukums	Emisija (t/g)				
	2008	2009	2010	2011	2012
Slāpekļa dioksīds	1 202.81	1 149.00	1 198.36	1 923.97	2 052.96
Slāpekļa (I) oksīds	0.06	0.04	0.06	0.09	0.09
Slāpekļa oksīdi (NOx)	178.40	153.44	68.54	88.69	107.22
Cietās izkļiedētās daļiņas	653.43	476.72	441.49	385.92	420.11
PM ₁₀	193.36	346.48	114.24	151.07	193.31
PM _{2,5}	0.07	0.03	1.52	7.24	12.72
Sēra dioksīds	41.65	36.11	21.76	15.53	18.29
Gaistošie organiskie savienojumi (GOS)	538.28	271.18	398.74	541.54	540.05
Amonjaks	47.66	51.84	49.08	50.46	48.04
Kopā	2 855.72	2 484.84	2 293.79	3 164.51	3 392.79

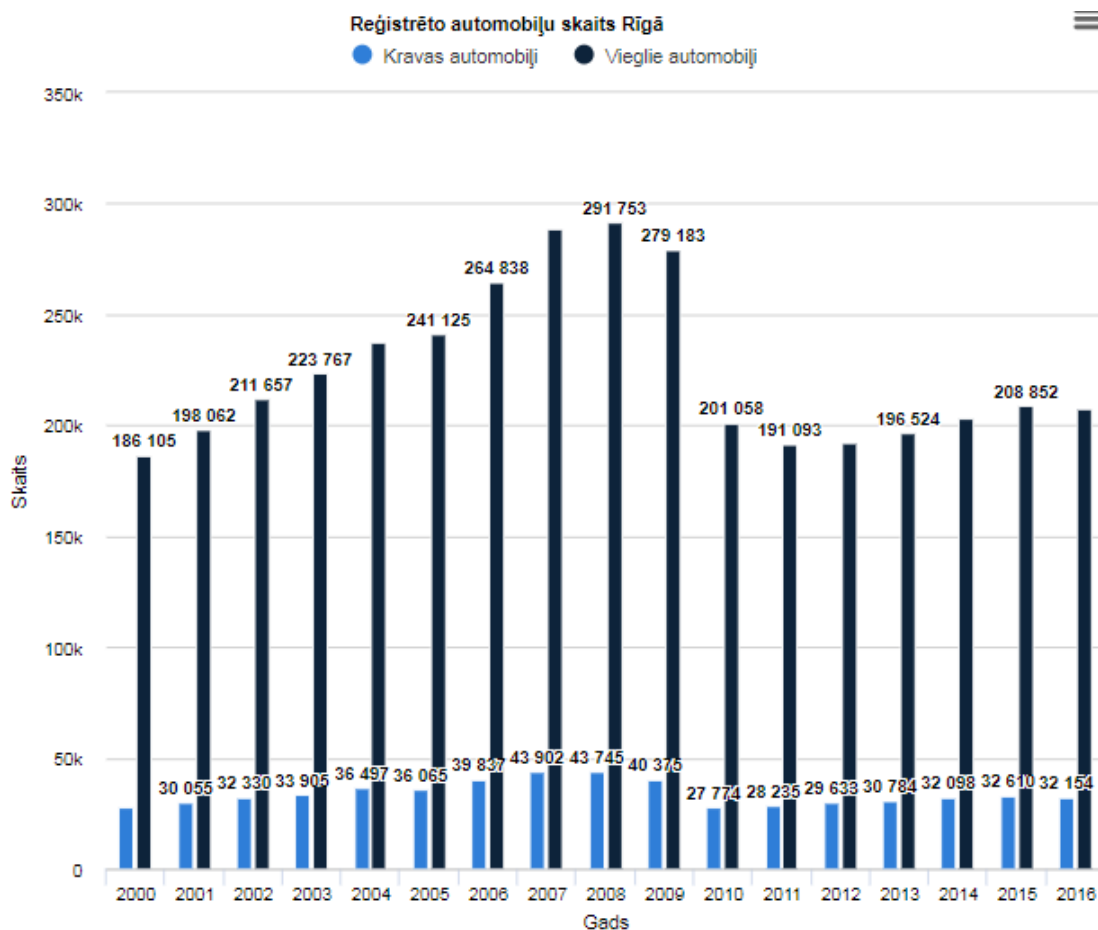
Pēc VAS Latvijas Valsts ceļi apkopotajiem datiem, redzama autotransportu kustības intensitāte uz valsts autoceļiem (5.5. tabula).

5.5. tabula

VAS Latvijas Valsts ceļi dati par transporta intensitāti uz valsts ceļiem 2004 – 2010. gadam (SIA Estonian, Latvian & Lithuanian Environment 2011)

Autoceļa Nr.	Gads	Automašīnu sk. diennaktī	Kravas auto% sastāvs
A10	2010	3400	18
P108	2010	2747	7
P122	2006	2062	7
P124 (A10-V1307)	2007	291	20
P124 (V1207-V1333)	2010	671	6
V1307	2006	579	8
V1308	2004	88	12

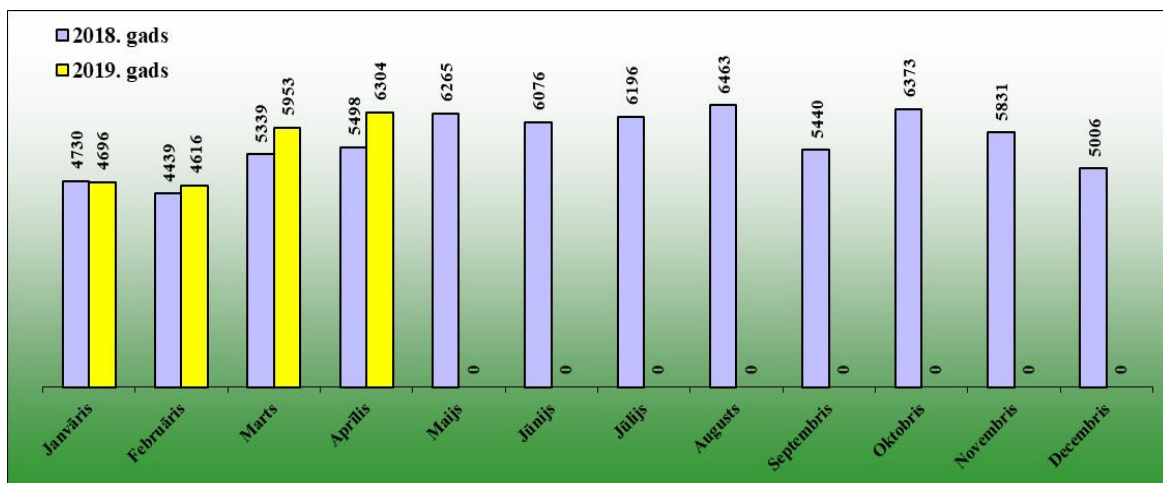
Ja automašīnu skaits diennaktī ir 3400, tad gada griezumā tie ir 1 241 000 auto. Piesārņojuma līmenis no šāda auto apjoma ir neizbēgams, turklāt 18% no šī apjoma sastāda kravas auto. Vērtējot kravas un vieglo auto skaita dinamiku Rīgas pilsētā, var secināt, ka kravas auto skaits laika griezumā kopš 2000. – 2016. gadam ir pieaudzis par 7%, bet vieglo auto skaits par 11% (skat. 5.3. att.).



5.3. att. Reģistrēto automobiļu skaits Rīgā (Rīgas Domes pilsētas attīstības departaments 2017)

Dinamikā redzams, ka lielākais vieglo automašīnu skaits Rīgā bijis 2008. gadā, kad sasniedzis 291 753, kamēr tuvu 280 tūkstošu robežai tas bijis gan 2007, gan arī 2009. gadā. Tāpat kravas automašīnu skaits Rīgā augstākais bijis 2007. – 2009. gadā, pārsniedzot 43 tūkstošu vienību robežu.

2019. gada pirmajos mēnešos jau reģistrēti vairāki tūkstoši pirmoreiz reģistrēto vieglo automobiļu. Bez vieglajām automašīnām tiek reģistrētas arī kravasmašīnas, motocikli un citi braucamrīki. Katru gadu šis skaits paliek ar vien lielāks (5.4.att.) (CSDD 2019).



5.4. att. CSDD pirmoreiz reģistrēto vieglo automobiļu skaits (CSDD 2019)

Salīdzinot gaisa piesārņojumu daudzu gadu garumā, novērojams, ka sēra dioksīda koncentrācijas ir samazinājušās, kas izskaidrojams ar rūpniecības uzņēmumu samazinājumu, taču slāpekļa oksīds un slāpekļa dioksīds ir bijuši augstās koncentrācijās gan agrāk, gan pēdējos gados, jo arvien palielinās automašīnu skaits un satiksmes intensitāte. Tāpat arī daļiņu PM₁₀ koncentrācija ir bijusi ļoti augsta un vairāku gadu garumā pārsniegusi noteiktos robežlielumus, pateicoties koncentrāciju samazināšanas pasākumiem situācija ir uzlabojusies un koncentrācijas ir samazinājušās, tomēr joprojām šie robežlielumi ik pa laikam tiek pārsniegti.

6. MATERIĀLI UN METODES

6.1. Ilgtermiņa lihenoindikātīvo pētījumu datu apkopošana

Pētījums tika veikts 2019. gada pavasarī Rīgas pilsētas parkos. Šis pētījums ir atkārtojums 2010. gada, 1999. gada, 1983. – 1985. un 1964. gadā veiktajiem lihenoindikātīvajiem pētījumiem. Metodes tika izvēlētas balstoties uz iepriekš veiktajiem pētījumiem, lai būtu iespējams salīdzināt rezultātus un kā tie mainījušies daudzu gadu garumā. Tika salīdzināti visos pētījumos iegūtās gaisa tīrības indeksa vērtības, Rīgas kartē izdalītās ķērpju zonas, ķērpju sastopamība un sugu procentuālais segums.

6.2. Lihenoindikātīvo novērojumu aktualizācija

Pētījumi tika veikti izlases veidā, apsekojot kvadrātus galvenokārt Rīgas centrā, kuros iepriekšējos gados pēc lihenoindikātīvajiem rādītājiem tika konstatēta gaisa piesārņojuma palielināšanās. Tika pieņemts, ka stāvokļa izmaiņas šajās pilsētas daļās (stāvoklis bez izmaiņām, stāvoklis pasliktinājies/uzlabojies) var raksturot tendences, kādas attiecībā uz gaisa vides stāvokli Rīgā ir novērojamas mūsdienās.

Tika izmantota jau iepriekš izveidota karte (Bogomazova 2010), parauglaukumi izvēlēti no 2. un 3. gaisa piesārņojuma zonas, lai pārbaudītu kā ir mainījusies gaisa kvalitāte Rīgas centrā un pārdaugavā. Tika apsekoti 60 koki, noteikti ķērpji un to procentuālais segums. Katram parauglaukumam aprēķināts gaisa tīrības indekss un noteikta gaisa piesārņojuma zona.

Pētījumā tika apsekotas liepas, kas bija aptuveni vienāda vecuma, izmēra un atradās netālu viena no otras, vienādos gaismas un mitruma apstākļos. Ielu malās esoši koki netika iekļauti, kā arī līki vai bojāti, vai ļoti jauni vai veci koki.

Ķērpju seguma noteikšanai tika izmantota caurspīdīga plēve 20 x 20 cm, kura bija sadalīta 2 x 2 cm kvadrātu tīklā, katrs kvadrāts atbilst 1%. Ķērpji tika noteikti koka dienvidu pusē (tajā pusē ir visvairāk ķērpju ar lielāko segumu, jo ziemeļu puse ir noēnotāka) aptuveni 1,5 m augstumā. Tika noteiktas ķērpju sugas, to segums %, ballēs (6.1.tabula) un sastopamības pakāpe (f).

Katram parauglaukumam tika aprēķināts gaisa tīrības indekss (I.A.P.) (LeBlanc, De Sloover 1970; Conti, Cecchetti 2001), ko aprēķina pēc formulas:

$$I.A.P. = \sum_{i=1}^n Q * f, \text{ kur}$$

Q – toksitolerances faktors, $Q = n_1/n_2$, kur n_1 – visu ķērpju sugu summa parauglaukumos, kuros ir konstatēta interesējošā suga; n_2 – ievākšanas vietu skaits, kurās ir interesējošā suga
 f – ķērpju seguma un sastopamības pakāpe (6.2. tabula).

6.1. tabula

Ķērpju seguma novērtējums ballēs (Bogomazova 2010)

Balles	Ķērpju segums, (%) no laukuma
0	ķērpju nav
1	1 – 5
2	5 – 10
3	10 – 20
4	20 – 30
5	30 – 50
6	vairāk par 50

6.2. tabula

Ķērpju seguma un sastopamības pakāpe (f) (Bogomazova 2010)

f vērtība	Sugas sastopamība
1	ļoti reta suga ar niecīgu segumu (0 -1 balles)
2	reta suga, vai ar niecīgu segumu (2 - 3 balles)
3	ne bieži sastopama suga ar vidējo seguma pakāpi (4 balles)
4	bieži sastopama suga ar augsto seguma pakāpi (5 balles)
5	ļoti bieži sastopama suga ar augsto seguma pakāpi (6 balles)

Pēc gaisa tīrības indeksa (I.A.P.) vērtībām izdala ķērpju zonas (6.3. tabula).
 Aprēķiniem izmanto *Microsoft Excel 2010* programmu.

Ķērpju zonas pēc gaisa tīrības indeksa (I.A.P.) vērtībām (Bogomazova 2010)

Zona	Gaisa tīrības indekss (I.A.P.)	Ķērpju zonas raksturojums
1	0	bezķērpju zona
2	1-100	zona ar stipri ierobežotu ķērpju izplatību
3	100-150	zona ar ierobežotu ķērpju izplatību
4	150-250	ķērpjiem bagāta zona
5	250 -	ķērpjiem ļoti bagāta zona

Pēc gaisa tīrības indeksa (I.A.P.) vērtībām izdalītās ķērpju zonas apkopotas Rīgas pilsētas kartē, kura apsrādāta programmās *ArcGIS* un *Paint*. Datu apkopošanai un aprēķināšanai izmantota programma *Microsoft Excel 2010*.

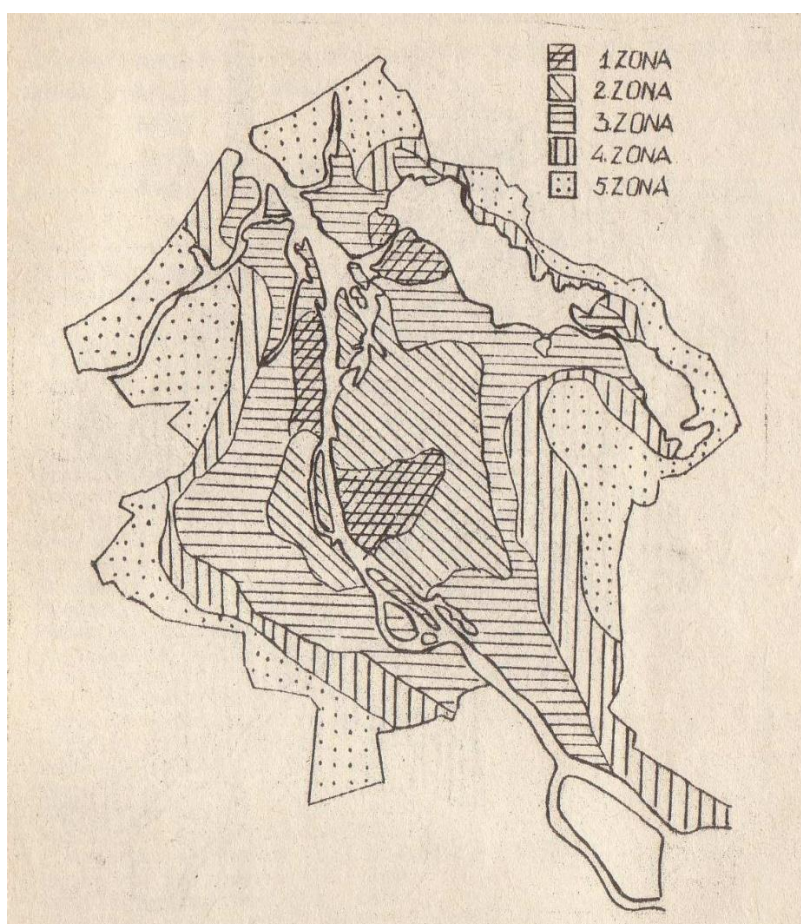
6.3. Datu analīze

Dažādos laika periodos iegūtās Rīgas kartes ar lihenoindikatīvajām zonām ar GIS programmatūru tika vienādotas pēc mēroga un uz tām projecēts kvadrātu tīkls ar sanumurētiem kvadrātiem. Lai noskaidrotu lihenoindikatīvo rādītāju ilgtermiņa izmaiņu tendences pilsētas teritorijā, tika izmantota kvadrātu-gadu ordinācija. Katram kvadrātam tika novērtēts ķērpju zonas seguma procents tā iekšienē un reģistrētas seguma izmaiņas dažādos laika periodos. Izejas datu matricas ailes satur kvadrātu numurus-gadus, bet ailes ķērpju zonas. Kvadrātu-gadu ordinācijai izmantota Galveno koordinātu analīze PCoA paketē PC-ORD Version 5.2. (McCune, Grace 2002). PCoA atļauj sakārtot kvadrātus-gadus līdzīgi kā to dara Galveno komponentu metode PCA, taču izmanto nevis korelāciju matricu, bet gan dažādu citu ne-Eiklīda distanču matricu, konkrētajā gadījumā Govera distanču matricu (*Gower Distance*). Govera distance ir asimetriska distance, kuru izskaitļojot starp divām pazīmēm netiek ņemtas vērā visas tās vērtības, kuras abām pazīmēm ir vienādas ar 0. Tā kā dotajā gadījumā izejas datu matrica saturēja daudz nulles, tieši Govera distance ļāva objektīvāk veikt kvadrātu-gadu ordināciju un noskaidrot galvenos faktoros – asis, kas to nosaka (Peck 2016). Lai veiktu datu sadalījuma normalizāciju, izejas dati transformēti arksīnusos. Šie dati ievadīti PCA programmas galvenajā

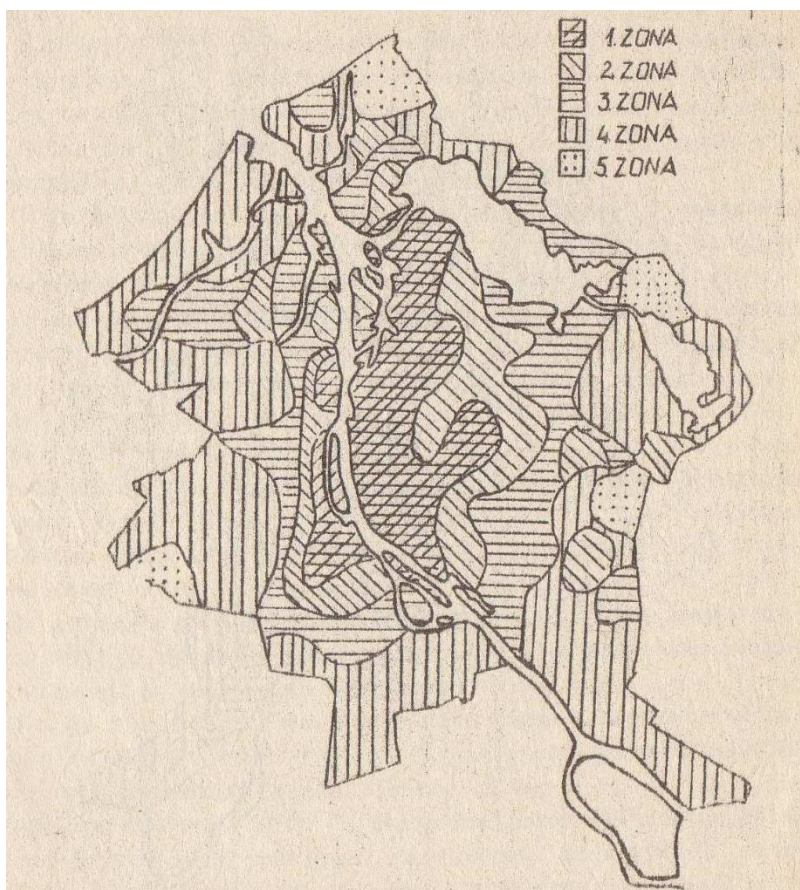
matricā (*Main matrix*). Otrajā matricā (*Second matrix*) ievadīti dati par pētījumu periodiem, kvadrāta atbilstību konkrētam pilsētas rajonam.

7. REZULTĀTU ANALĪZE

Rīgā pirmais lihenindikācijas pētījums veikts no 1963. gada līdz 1964. gadam, nākamais no 1983. gada līdz 1985. gadam. Pirmā pētījuma pamatā bija ķērpju sugu izplatības noskaidrošana uz dažādiem substrātiem. Otrā pētījumā izmantots gaisa tīrības indekss (LeBlanc, De Sloover 1970) un pēc pārveidotas (Kirschaum 1973 cit. pēc Piterāns, Bērziņa 1990) metodes. Abos pētījumos apkopojot rezultātus izdalītas 5 ķērpju zonas (1. att. un 2. att). 1. zona aizņēma 12,2%, 2. zona aizņēma 23,3%, 3. zona – 26,6%, 4. zona – 35,5%, 5. zona – 2,8%. Salīdzinot abus pētījumus secināts, ka 20 gadu laikā gaisa piesārņojuma līmenis Rīgā ir pieaudzis (Piterāns, Bērziņa 1990).



7.1.att. 1963. – 1964. gada pētījumā izdalītās ķērpju zonas Rīgā (Piterāns, Bērziņa 1990)



7.2.att. 1983. – 1985. gada pētījumā izdalītās ķērpju zonas Rīgā (Piterāns, Bērziņa 1990)

Pēc šiem pētījumiem sekoja nākamais 1998. gadā. Pētījums veikts Rīgas centra rajonā un Latgales priekšpilsētā. Apsēkotie parauglaukumi iedalīti 5 zonās:

1. zona - ļoti niecīgs ķērpju daudzums, piesārņojuma avots ir gan dzelzceļš, gan uzņēmumi un autobusu parks;

2. zona - Centra rajons un Latgales priekšpilsētas ziemeļrietumi. Piesārņojumu rada autotransports. Zonas robežas apjož Vecrīgu;

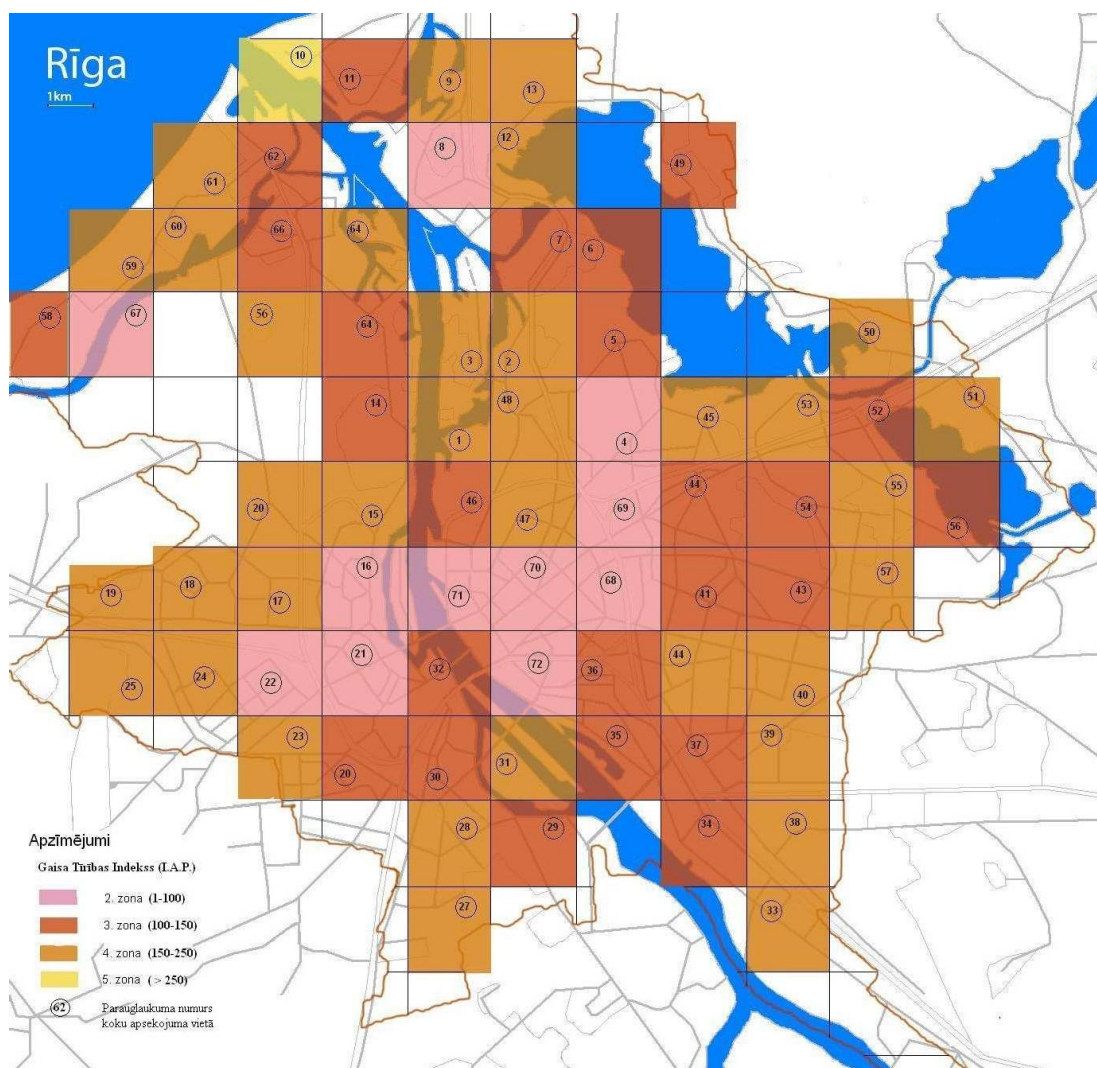
3. zona - satiksme Deglava ielā, vērojama Krasta ielas satiksmes ietekme. Šī zona stiepjas arī gar dzelzceļu. Aptver plašu rūpnīcu teritoriju ap Lubānas ielu;

4. zona - daļa dzīvojamo namu rajonu Dārziņos, Pļavniekos, Šķirotavā, Krasta masīvā, lielākā daļa Ķengaraga un Rumbulas;

5. zona - tīrs gaiss, galvenokārt Dārziņos, bagāti ar apstādījumiem, nav rūpnīcu un ir mazāka satiksme. Salīdzinot ar 1983. - 1985. gada pētījumiem, piesārņojuma līmenis ir samazinājies (Kālis 1999).

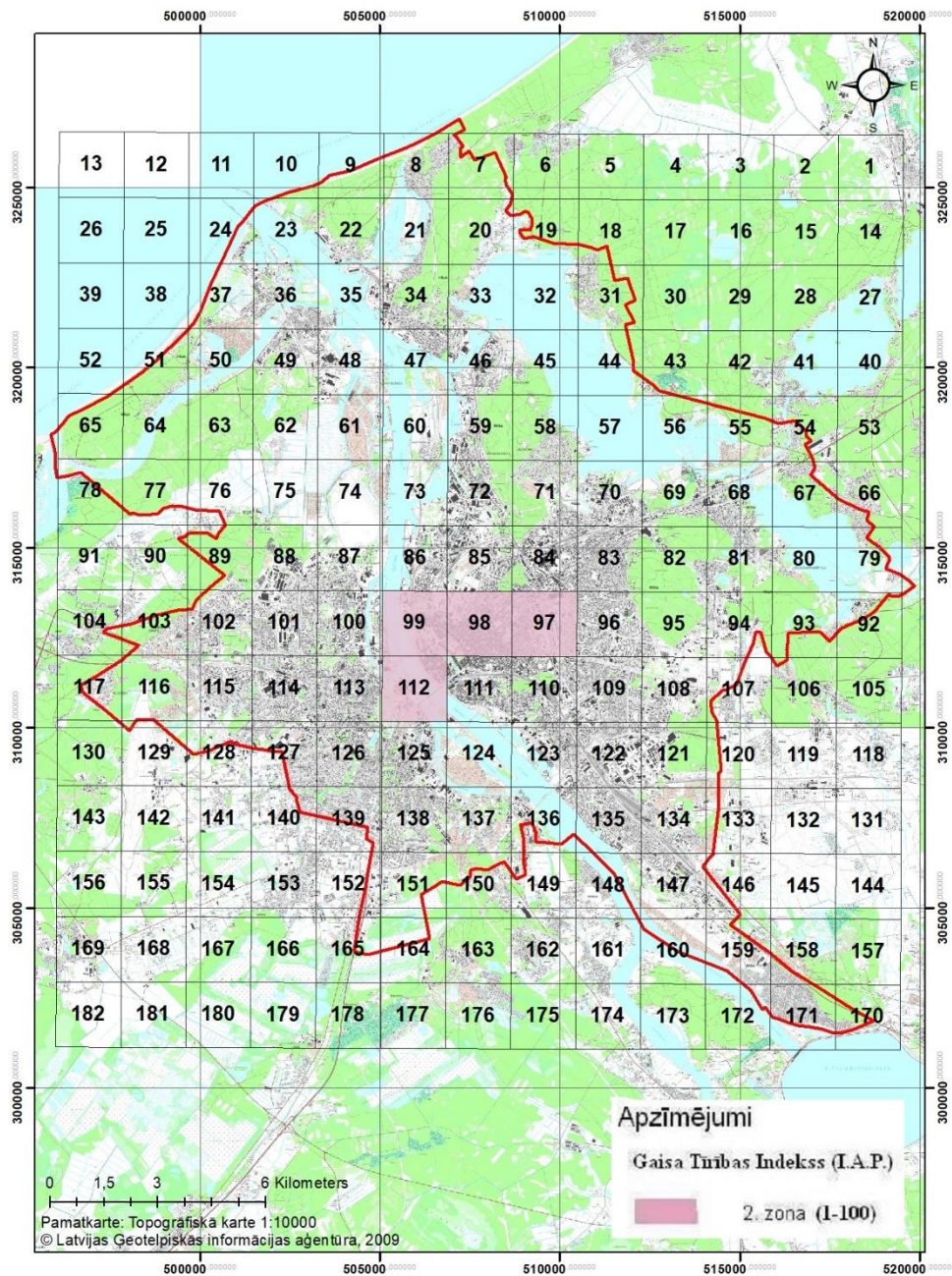
Pētījumu atkārtojusi Bogomazova 2009. - 2010. gadā. Pilsētas teritorija tika sadalīta kvadrātos (7.3. att.) un apsekoti 72 parauglaukumi, katrā 10 koki. Tika noteiktas ķērpju sugas

un to procentuālais segums uz substrāta (koka stumbra), veikti gaisa tīrības indeksa aprēķini un izdalītas 4 ķērpju zonas, 1. jeb bezķērpju zona, atšķirībā no visiem iepriekšējiem pētījumiem, bija izzudusi. 2. zona aizņēma – 15,3%, 3. zona – 34,7%, 4. zona – 48,6%, 5. zona – 1,4%. Salīdzinot ar iepriekšējos gados veiktajiem pētījumiem Rīgas centrā piesārņojuma līmenis ir samazinājies, taču pārējās zonas ir paplašinājušās, tas izskaidrojams ar rūpniecības uzņēmumu samazinājumu un pieaugošo autotransporta intensitāti (Bogomazova 2010).



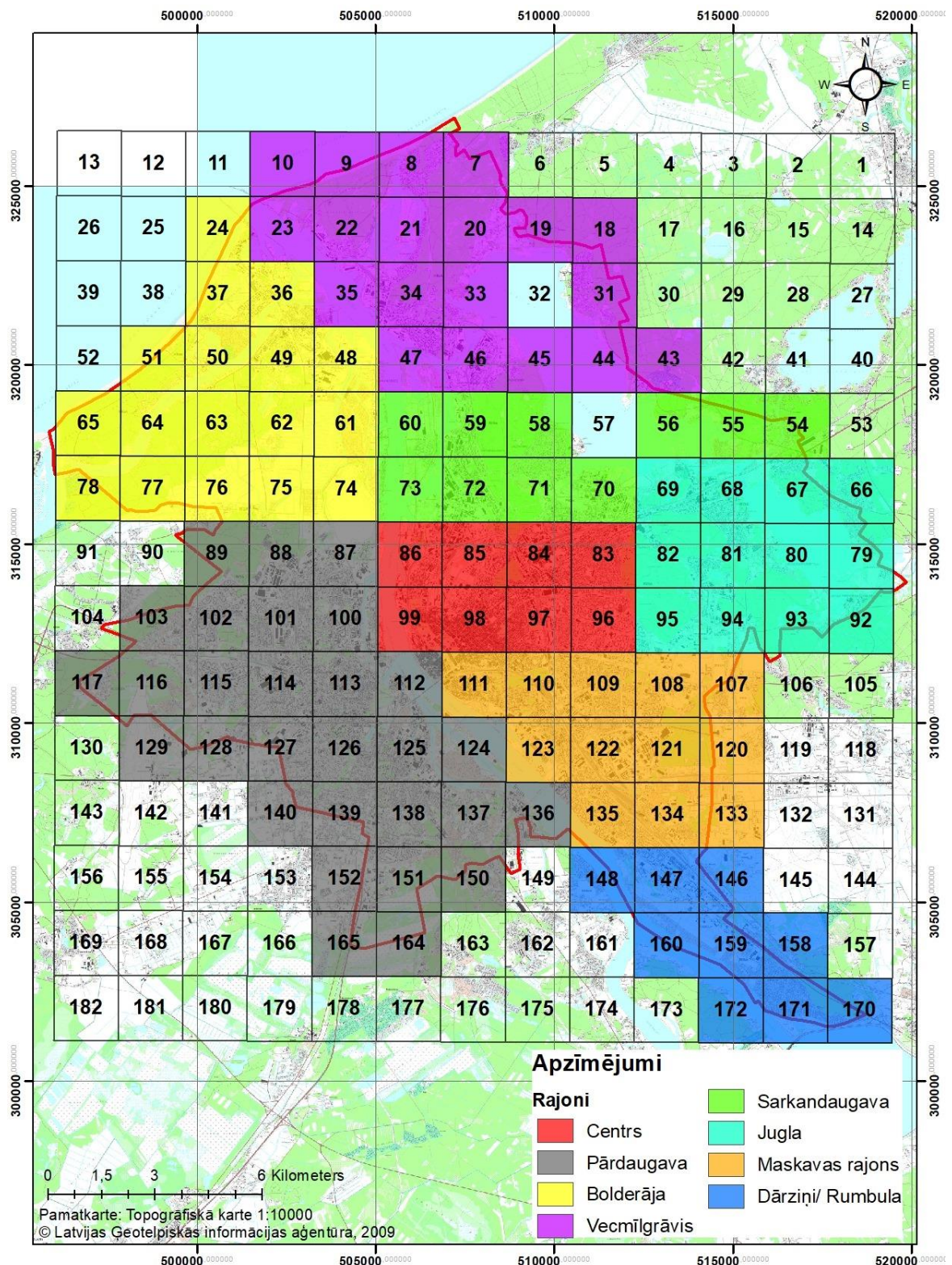
7.3. att. 2010. gada pētījumā izdalītās ķērpju zonas Rīgā (Bogomazova, 2010)

Lai varētu spriest par gaisa piesārņojuma izmaiņām Rīgā veikts pētījums, izmantojot lihenoidikāciju un gaisa tīrības indeksa aprēķinus. Tika izvēlēti un apsekoti 2. un 3. zonas 4 parauglaukumi Rīgas centrā un pārdaugavā, lai novērtētu vai šajās zonās ķērpju izplatība ir mainījies, salīdzinot ar iepriekš veikto pētījumu rezultātiem. Iegūtie rezultāti redzami 7.4. attēlā. Katrā parauglaukumā sastopamās sugas redzamas pielikumā (1.pielikums). Gaisa tīrības indeksa vērtības apsekotajiem parauglaukumiem variēja no 42 līdz 83,9, kas norāda uz piederību otrajai ķērpju zonai.



7.4. att. 2019. gada pētījumā izdalītā ķērpju zona Rīgas centrā

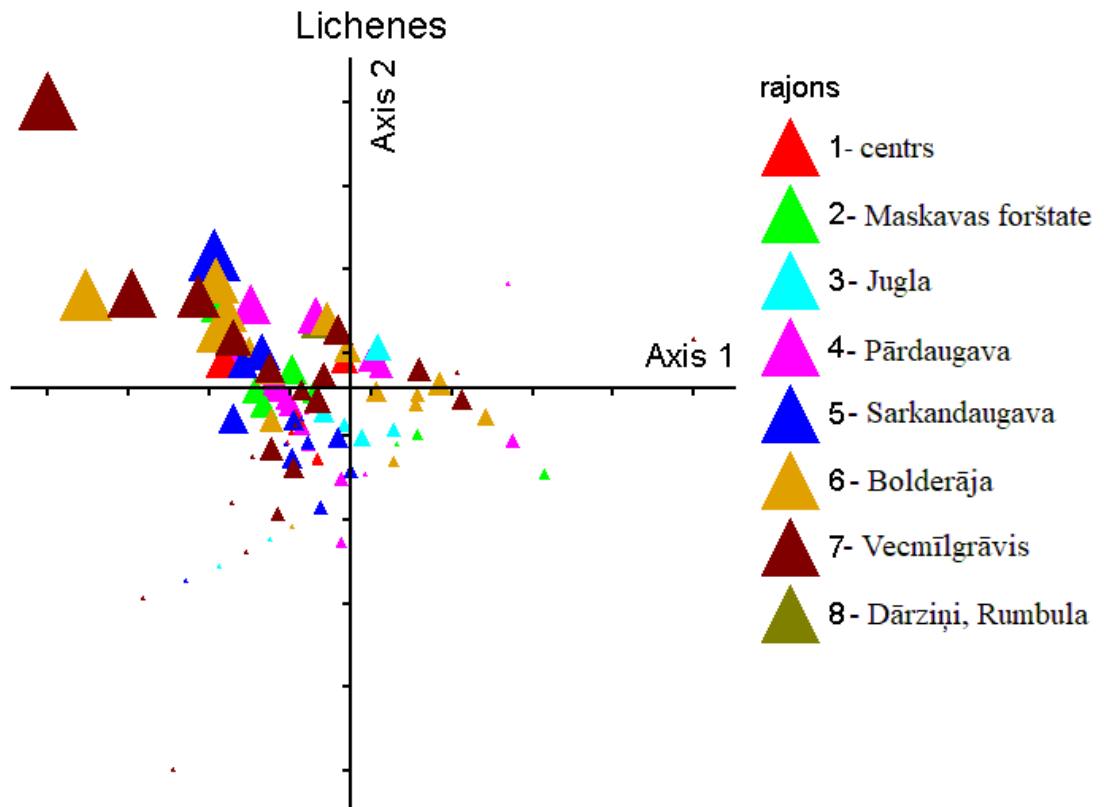
Tika veikta arī ordinācijas analīze, izmantojot Rīgas kartē izdalītās ķērpju zonas visu iepriekšējo gadu pētījumos. Pētījumos apsektie parauglaukumi iedalīti rajonos pēc to atrašanās vietas (7.5. att.)



7.5. att. Parauglaukumu iedalījums rajonos

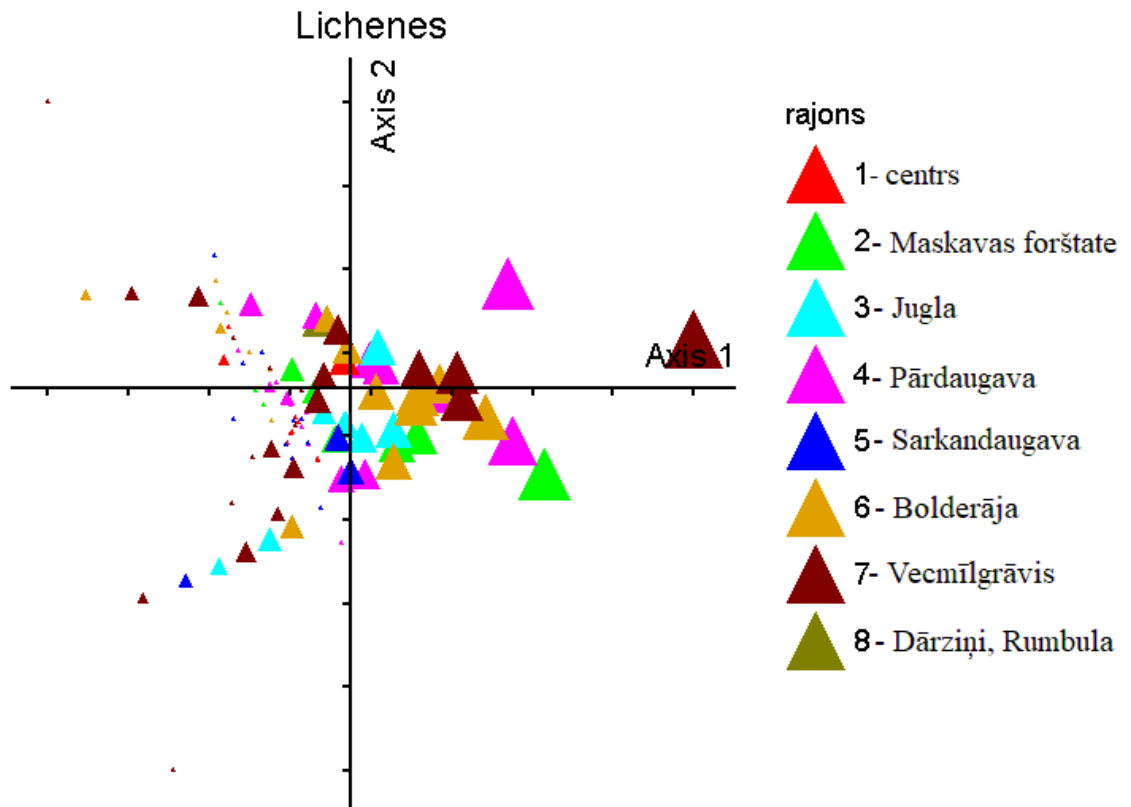
Galveno koordinātu analīze ļāva izdalīt divas galvenās ass, ka kopā izskaidro 70,08% no kopējās datu dispersijas (2. pielikums). Pirmā ass izskaidro 44,39% un tai ir visaugstākā

korelācija ($r = 0,939$) ar 4. ķērpju zonu (7.7. att.). Trīsstūru palielināšanās diagrammas labajā pusē norāda, ka 4. ķērpju zonai ir tendence palielināties pēdējos gados. Tas ir noticis pamatā Maskavas foršates, Pārdaugavas, Bolderājas un Vecmīlgrāvja rajonos. Otrā ass izskaidro 25,69% no kopējās dispersijas un tai ir visaugstākā korelācija ($r = 0,703$) ar 3. ķērpju zonu (7.6. att.). Trīsstūru palielināšanās diagrammas augšā kreisajā pusē norāda, ka 3. ķērpju zonai ir tendence palielināties pēdējos gados un tas ir noticis pamatā Sarkandaugavas, Bolderājas un Vecmīlgrāvja rajonos. Taču ļoti augsta, bet negatīva korelācija ar otro asi ($r = -0,782$) ir arī 5. ķērpju zonai (7.8. att.). Tādējādi Trīsstūru palielināšanās diagrammas apakšējā kreisajā daļā norāda, ka 5. zonai pretēji 3. un 4. zonai ir tendence samazināties pēdējos gados. Tas ir noticis pamatā Juglas, Sarkandaugavas, Bolderājas un Vecmīlgrāvja rajonos. Kopumā jāsecina, ka 3. un 4. zonu palielināšanās ir pēdējos gados ir notikusi uz 5. zonas samazināšanās rēķina. Tātad gaisa vides stāvoklis no šī viedokļa ir nedaudz, bet tomēr pasliktinājies atsevišķās pilsētas daļās. Vienlaikus jāatzīmē, ka 1. un 2. ķērpju zonas uz šo izmaiņu fona gadu gaitā ir mainījušās relatīvi mazāk. Stāvokis 1. un 2. zonas pilsētas rajonos ir saglabājies gandrīz nemainīgs (7.9. att., 7.10. att.).



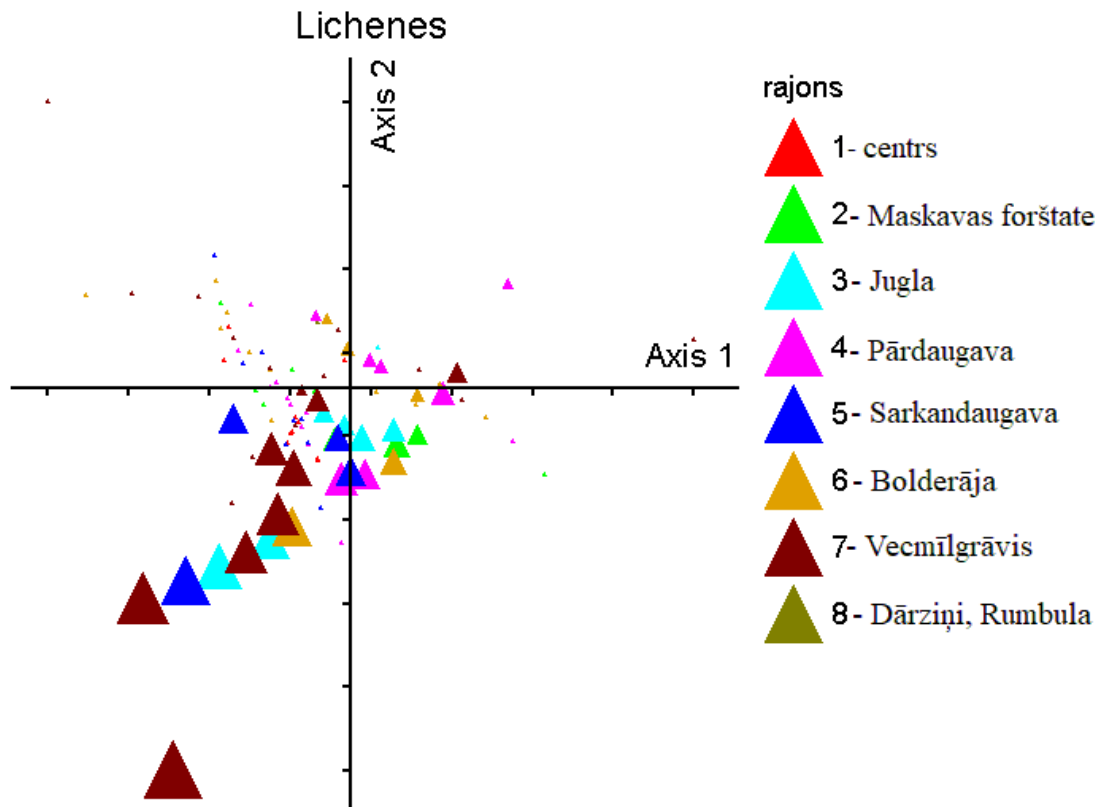
7.6. att. Kvadrātu-gadu ordinācija PCoA pirmajās divās asīs pēc trešās zonas izmaiņām 1964.-2019. gadu laikā. Trīsstūra lielums ir proporcionāls pētījumu gadu skaitļa lielumam.

Trešā zona palielinās pamatā Sarkandaugavas, Bolderājas un Vecmīlgrāvja rajonos.



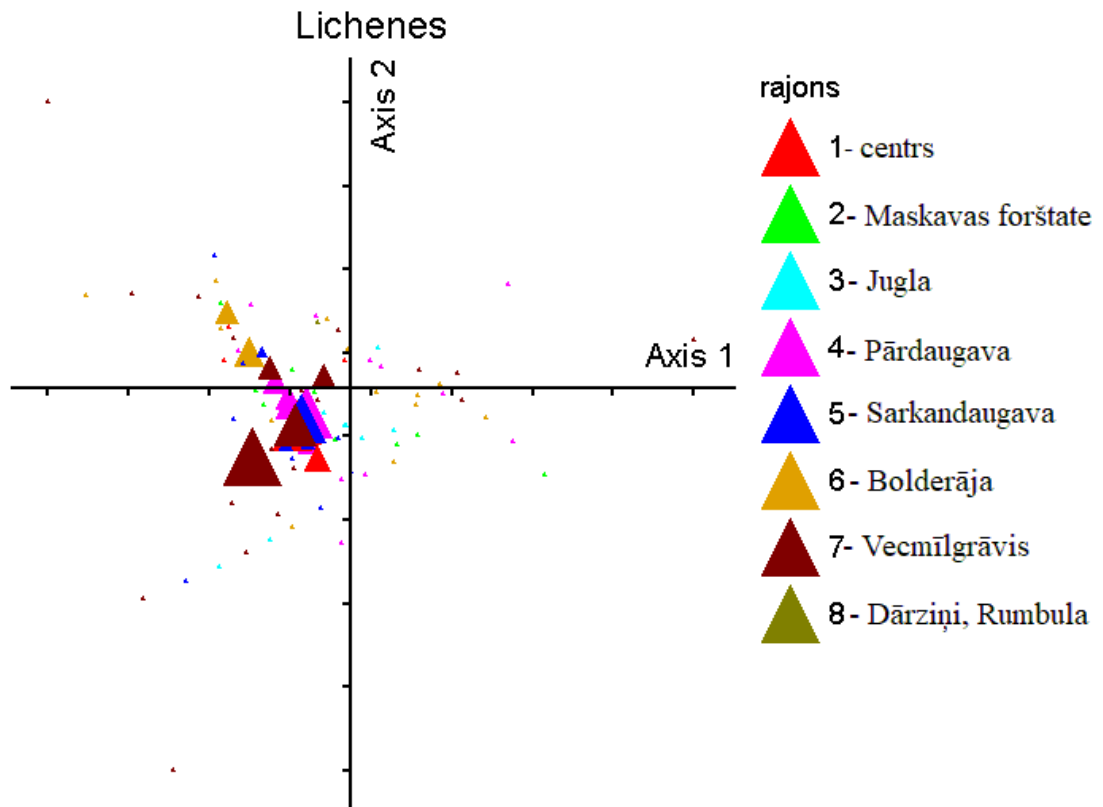
7.7. att. Kvadrātu-gadu ordinācija PCoA pirmajās divās asīs pēc ceturtās zonas izmaiņām 1964.-2019. gadu laikā. Trīsstūra lielums ir proporcionāls pētījumu gadu skaitļa lielumam.

Ceturtajai zonai ir tendence palielināties pamatā Vecmīlgrāvja, Pārdaugavas, Maskavas forštates un Bolderājas rajonos.



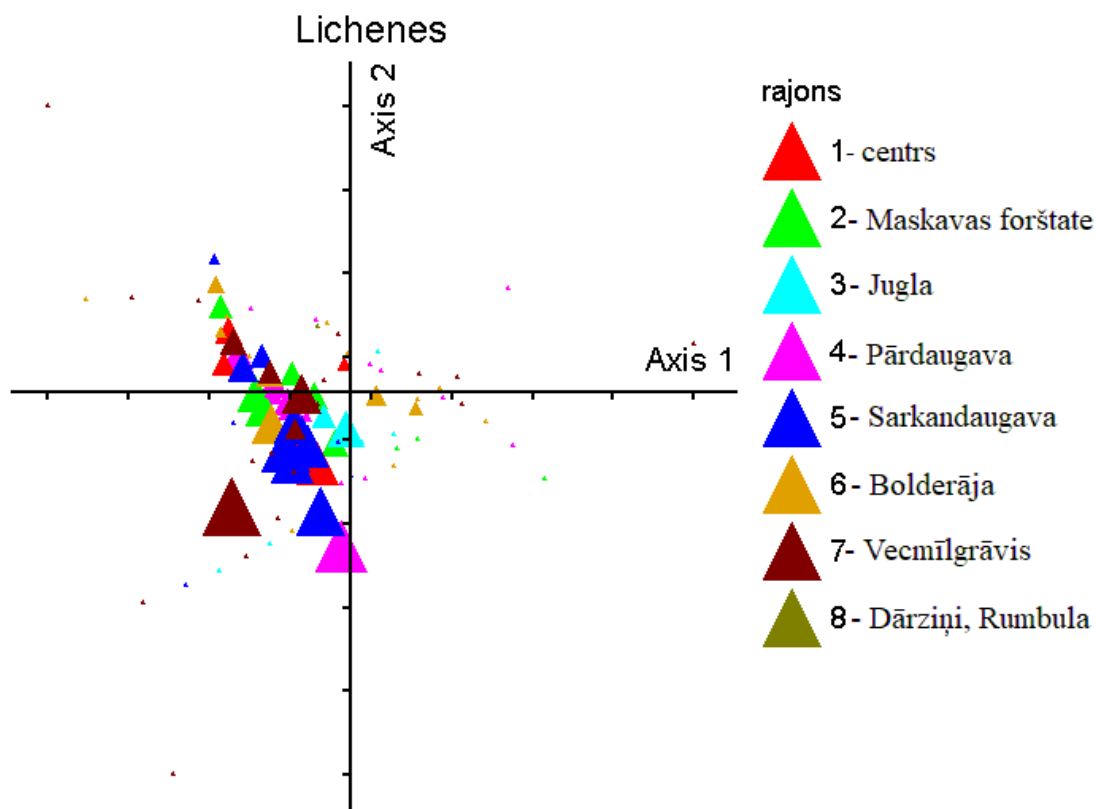
7.8. att. Kvadrātu-gadu ordinācija PCoA pirmajās divās asīs pēc piektās zonas izmaiņām 1964.-2019. gadu laikā. Trīsstūra lielums ir proporcionāls pētījumu gadu skaitļa lielumam.

Piektajai zonai ir tendence samazināties Juglas, Sarkandaugavas, Bolderājas un Vecmīlgrāvja rajonos.



7.9. att. Kvadrātu-gadu ordinācija PCoA pirmajās divās asīs pēc bezķērpju zonas (1. zona) izmaiņām 1964.-2019. gadu laikā. Trīsstūra lielums ir proporcionāls pētījumu gadu skaitļa lielumam.

Ļoti nedaudz samazinājusies 1. zona (attiecībā pret otro asi) Vecmīlgrāvī. Šīs izmaiņas, salīdzinot ar izmaiņām, kas ir notikušas 3. 4. un 5. zonās, kas raksturo ordinācijas asis, ir relatīvi ļoti mazas.



7.10. att. Kvadrātu-gadu ordinācija PCoA pirmajās divās asīs pēc otrās zonas izmaiņām 1964.-2019. gadu laikā. Trīsstūra lielums ir proporcionāls pētījumu gadu skaitļa lielumam.

Ļoti nedaudz samazinājusies 2. zona (attiecībā pret otro asi) Pārdaugavā, Vecmīlgrāvī un Sarkandaugavā. Šīs izmaiņas, salīdzinot ar izmaiņām, kas ir notikušas 3. 4. un 5. zonās, kas raksturo ordinācijas asis, ir relatīvi ļoti mazas.

Apsēkotajos parauglaukumos konstatētas 9 ķērpju sugas. Vislielākais procentuālais segums ir *Hypogymnia physodes* un *Xanthoria parietina*, bet visretāk sastopamas *Ramalina farinacea* un *Ramalina fraxinea*. Pēc aprēķinātā toksitolerances faktora (Q) sanāk, ka jutīgākas ir *Hypogymnia physodes* (Q=6) un *Xanthoria parietina* (Q=6), un izturīgākas pret piesārņojumu ir *Ramalina farinacea* (Q=9) un *Ramalina fraxinea* (Q=9), taču tas ir aplami, jo ir pilnīgi otrādi. Visbiežāk sastopamajām sugām toksitolerances faktors ir 8 – 9 robežās. *Ramalinās sp.* kā krūmu ķērpji sastopami tīrākā gaisā un ir jutīgi pret piesārņojumu, savukārt *Xanthoria parietina* spēj paciest diezgan augstu piesārņojumu.

Pirmā jeb bezķērpju zona netika konstatēta, tāpat tā netika konstatēta arī 2010. gadā (Bogomazova), atšķirībā no 1983. – 1985. gadā veiktā pētījuma (Piterāns, Bērziņa 1990), kad principā visā centra teritorijā un nedaudz pārdaugavā bija bezķērpju zona.

Otrā zona ar stipri ierobežotu ķērpju izplatību pēc gaisa tīrības indeksa iegūtajiem rezultātiem aizņēma visus pētītos parauglaukumus, kas ietver (Grīziņkalna parku, Ziedoņdārzu, Vērmanes dārzu, Esplanādi, Viesturdārzu un Arkādijas parku). Šajās zonās I.A.P. vērtības bija no 42 līdz 83,9, tomēr salīdzinoši ar pārējiem parkiem Arkādijas parkā bija novērojams gan lielākais ķērpju procentuālais segums, gan daudzveidība. Tur sastopamo sugu starpā bija *Ramalina fraxinea*, kas raksturīga tīram gaisam. Savukārt Viesturdārzā bija sastopamas vairākas piesārņotai zonai raksturīgas sugas, piemēram, aerofitiskā zaļalģe *Pleurococcus vulgaris*.

8. DISKUSIJA

Salīdzinot pirmos divus pētījumus, 1964. gadā un no 1983. – 1985. gadam, tika secināts, ka gaisa piesārņojuma līmenis ir pieaudzis, jo varēja novērot izteiktu pirmās un otrās zonas paplašināšanos un 5 zonas samazināšanos (skat. 7.1., 7.2. att.), kas skaidrojams ar rūpniecības uzņēmumu attīstību un transportlīdzekļu radīto piesārņojumu. Nākamajos pētījumos secināts, ka gaisa piesārņojums centra rajonā ir mazinājies, kā arī notikusi tā izkļiede perifērijā, kas saistāms ar rūpniecības uzņēmumu samazināšanos. 2010. gadā pirmo jeb bezķērpju zonu pilsētas centrā ir nomainījusi otrā zona, kur joprojām ir augsts gaisa piesārņojuma līmenis, esošo stacionāro piesārņojošo avotu un intensīvās satiksmes dēļ. Tā kā rūpniecības uzņēmumi un piesārņojošie stacionārie avoti samazinājušies, tad arī sēra dioksīda koncentrācijas vairs nav novērojamas tik augstas, kā tas bija agrāk, taču arvien pieaugošā transporta intensitāte palielina slāpekļa un benzola koncentrācijas gaisā. Lielāko platību aizņem ceturtā jeb fona zona ar zemu piesārņojuma līmeni, tad seko trešā zona dzīvojamo rajonu un lielo ceļu tuvumā, savukārt otrā zona izplatīta centrā un blīvas apbūves rajonos, kur nav gaisa ventilācijas. Kopumā vērojama tendence piesārņojumam izplatīties visā pilsētā, tikai zemākā koncentrācijā. Pēc 2019. gada apsekojuma, redzams, ka pilsētas centrā un daļā pārdaugavas gaisa piesārņojuma līmenis joprojām ir salīdzinoši augsts un atbilst otrajai zonai ar stipri ierobežotu ķērpju izplatību.

Pēc ordinācijas analīzes iegūtajiem rezultātiem redzams, ka kopumā Rīgā trešā jeb vidēja gaisa piesārņojuma zona ir paplašinājusies uz pirmās (izzudusi) un otrās zonas samazināšanās rēķina, savukārt ceturtā jeb maznozīmīga gaisa piesārņojuma zona ir paplašinājusies uz piektās jeb tīra gaisa zonas rēķina. Lai sekotu gaisa kvalitātes izmaiņām Rīgā, vēlams periodiski atkārtot lihenoloģiskos pētījumus, noskaidrojot ķērpju sugu indikatorus atbilstoši dažādiem piesārņojuma līmeņiem pētāmajās teritorijās.

Salīdzinot parauglaukumos sastopamās sugas novērojama to maiņa. Gan 2010. gadā konstatētās sugas ir jaunas salīdzinot ar iepriekšējo gadu rezultātiem, gan 2019. gadā parauglaukumos konstatētās sugas nesakrīt ar 2010. gadā reģistrētajām sugām, ir novērojama jaunu sugu parādīšanās. Visretāk sastopamas bija *Ramalina farinacea* un *Ramalina fraxinea*, kas ir jaunās konstatētās sugas Arkādijas parkā. Pirmstam šie ķērpji konkrētajos parauglaukumos nav tikuši konstatēti, kas varētu liecināt par gaisa piesārņojuma mazināšanos un gaisa kvalitātes uzlabošanos, konkrētajā apsekojuma rajonā. 1983. – 1985. gadā otrajā zonā tika konstatētas 6 ķērpju sugas, 2010. gadā 11 sugas, bet 2019. gadā to skaits variēja no 4 līdz 9 sugām, no kurām tikai dažas sakrita ar iepriekš reģistrētajām.

Pēdējo 20 – 30 gadu laikā samazinājies ķērpjus ietekmējošais sēra dioksīda līmenis, taču slāpekļa oksīds un dioksīds, kas arī atstāj ietekmi uz ķērpjiem joprojām ir augstā līmenī pieaugošās transporta intensitātes dēļ. Ķērpju zonu maiņu ietekmē šis transporta radītais piesārņojums, īpaši rajonos ar sliktu gaisa ventilāciju un intensīvu satiksmi.

Arkādijas parka teritorija salīdzinot ar 2010. gada pētījuma rezultātiem, ir nomainījusies no trešas zonas uz otro, tādējādi liekot domāt, ka gaisa kvalitāte tur ir pasliktinājusies, bet I.A.P. aprēķinu rezultāti šajā gadījumā iespējams nav īsti precīzi. Šobrīd tur ir vērojamas citas sugas nekā tas bija pirms 10 gadiem. Pārējie parauglaukumi palikuši nemainīgi tajā pašā – otrajā zonā. Tas liecina, ka pēdējo 10 gadu laikā piesārņojuma līmenis nav būtiski pieaudzis, taču tas nav arī samazinājies. Gaisa piesārņojums ir augsts par ko arī liecina maza ķērpju sugu daudzveidība un zems procentuālais segums.

Gaisa tīrības indeksa metode ir labi pielietojama teritorijām pilsētu vai valsts mērogā, jo jāapseko plaša teritorija, lai dati būtu pēc iespējas precīzāki. Veicot aprēķinus tiek izmantota sugas sastopamības un seguma pakāpe (f), kas tiek reizināta ar toksitolerances faktoru (Q), un jo vairāk parauglaukumi tiks apsekoti, jo lielāki šie skaitļi būs, kā rezultātā arī gaisa tīrības indekss būs lielāks. Un jo I.A.P. vērtība parauglaukumā ir lielāka, jo augstākai un sugām bagātākai ķērpju zonai tas pieder.

Lai novērtētu gaisa piesārņojumu mazākā teritorijā vai kāda piesārņojošā avota tuvumā ieteicams izmantot transplantācijas metodi, kur ķērpjus no tīras gaisa zonas pārvieto uz pētāmo teritoriju un seko līdzi tā izmaiņām. Ja ķērpja laponim pamanāmi bojājumi un tas zaudē vitalitāti, tad dažu nedēļu laikā var novērot tā bojāeju, ka liecinās par augstu gaisa piesārņojuma līmeni.

Salīdzinot Latviju ar citām valstīm, kurās veikti lihenoindikatīvi pētījumi, daudzās tie ir veikti pilsētu vai valsts mērogā, taču nav veikti atkārtoti pētījumi un salīdzināts kā pa gadiem gaisa piesārņojums ir mainījies.

Lai samazinātu transporta radīto piesārņojumu it īpaši pilsētas centrā varētu satiksmi novirzīt pa citiem ceļiem, kā arī attīstīt velo infrastruktūru.

Vēl viens variants ir infrastruktūras veicināšana transportlīdzekļiem ar zemu vai nulles emisiju līmeni Rīgā. Iespējamie pasākumi :

1. noteikt un piemērot labvēlīgāku stāvvietu politiku un nodokļus elektriskajiem, hibrīdiem un ūdeņraža transportlīdzekļiem Rīgā pašvaldību autostāvvietas;
2. izstrādāt īpašu atbalsta programmu (valsts vai pašvaldības), veicināt nulles emisijas transportlīdzekļu izmantošanu Rīgā;
3. nodokļu atvieglojumu tiesību akti transportlīdzekļiem ar zemu vai nulles emisiju līmeni Rīgā (Latvijā);

4. aprīkot transportlīdzekļu stāvvietas ar uzlādes punktiem elektriskiem / hibrīda automobiļiem;
5. atjaunināt Rīgas pilsētas sabiedriskā transporta autobusu parku ar nulles emisiju autobusiem, lai pakāpeniski aizstātu iekšdedzes dzinēju autobusus ar nulles emisijas ūdeņraža autobusiem; izveidot ūdeņraža uzpildes staciju tīklu Rīgā (Kleperis et al. 2011).

9. SECINĀJUMI

1. Apkopojot visu lihenoindikatīvo pētījumu rezultātus Rīgas pilsētā no 1964. gada līdz mūsdienām, var secināt, ka 3. un 4. ķērpju zona aizņem lielāko pilsētas daļu. Trešās un ceturtais zonu palielinašanās pēdējos gados ir notikusi uz piektās zonas samazināšanās rēķina. Gaisa vides stāvoklis no šī viedokļa ir nedaudz, bet tomēr pasliktinājies atsevišķās pilsētas daļās.

2. 1. un 2. ķērpju zonas izmaiņas gadu gaitā ir mainījušās relatīvi mazāk. Pēc 2019. gadā ievāktajiem datiem no otrās un trešās zonas parauglaukumiem, var secināt, ka gaisa kvalitāte ir palikusi nemainīga otrajā zonā jeb stipri piesārņota gaisa zonā, savukārt parauglaukums no trešās zonas pēc I.A.P. vērtībām šobrīd ir nomainījies uz otro zonu. Parauglaukumā neskatoties uz zonas maiņu bija sākuši attīstīties krūmu ķērpji.

3. Ķērpju kopējā seguma izmaiņas pēdējo 10 gadu laikā nav īpaši mainījušās. Pilsētas centrā ķērpju segums nav pārāk liels un sugu izplatība ir ierobežota.

10. PATEICĪBAS

Izsaku pateicību sava maģistra darba vadītājam Dr.biol., prof. Viesturam Melecim par palīdzību un padomiem darba izstrādē.

IZMANTOTĀ LITERATŪRA

- Abas, A., Awang, A. (2018). Lichen as bio-indicator for air pollution in Klang Selangor, *Pollution Research*, vol. 37, no 4, pp. 35-39.
- Agneta, M., Burton, S. 1986. *Biological Monitoring of Environmental Contaminants (Plants)*. Monitoring and Assessment Research Centre (MARC). Report Nr. 32., 297.
- Ahmadjian, V., 1993. *The Lichen Symbiosis*. New York. John Wiley, 250.
- Asta, J., Erhardt, W., Ferretti, M., Fornasier, F., Kirschbaum, U., Nimis, P.L., Purvis, O.W., Pirintsos, S., Scheidegger, C., Van Haluwyn, C., Wirth, V. 2002. European Guideline for Mapping Lichen Diversity as an Indicator of Environmental Stress. In: Nimis, P.L. et al. (eds.) *Monitoring with Lichens - Monitoring Lichens*. NATO Science Series, IV, Vol. 7. Kluwer Academic Publishers, 408: 273-279.
- Auniņš A. 2013. Eiropas Savienības aizsargājami biotopi Latvijā. Noteikšanas rokasgrāmata, 351 – 352.
- Ābele, S. 2013. Lihenoindikācijas metodes izmantošana gaisa kvalitātes novērtējumam Smiltenes pilsētā. Maģistra darbs, Latvijas Universitāte, Ģeogrāfijas un Zemes zinātņu fakultāte, Rīga, 121. lpp.
- Bačkor, M., Dzubay, A. Short-term and chronic effects of copper, zinc and mercury on the chlorophyll content of four lichen photobionts and related alga. *Journal of Hattori Botanical Laboratory*. 2004, vol. 95, pp. 271-284.
- Barkman, J.J. 1958. Phytosociology and ecology of cryptogamic epiphytes. Van Gorcum, Assen, 628.
- Batts, J.E., Calder, L.J., Batts, B.D. Utilizing stable isotope abundances of lichens to monitor environmental change. *Chemical Geology*. 2004, vol. 204, pp. 345-368.
- Belnap, J., Harper, K., Warren, S. 1993. Surface disturbance of cryptobiotic soil crusts: nitrogenase activity, chlorophyll content, and chlorophyll degradation. *Arid Land Resources Management*. Vol. 8, pp. 1-8.
- Bogomazova, K. (2010). *Lihenoindikācijas metodes pielietojums gaisa piesārņojuma bioindikācijā Rīgā*. Bakalaura darbs, Latvijas universitāte, Ģeogrāfijas un Zemes Zinātņu fakultāte, Rīga, 70 lpp.
- Brodo I. 2001. *Lichens of North America*. Yale University, 92 – 93.
- Brodo, I., Sharnoff, S.D., Sharnoff, S. 2003. *Lichens of North America*. London. Yale University Press, 795.
- Catalá, M., Gasulla, F., Pradas del Real, A.E., García-Breijo, F., Reig-Armiñanab, J., Barreno, E. 2013. The organic air pollutant cumene hydroperoxide interferes with NO antioxidant role in rehydrating lichen. *Environmental Pollution*. Vol. 179, pp. 277-284.
- Cieśliński, S., Jaworska (1986). E. Changes in the lichen flora of pine (*Pinus silvestris* L) under the influence of greenhouse plants cement and lime industry and mining. *Act Mycol*. 2(1):3-14.
- Conti, M.E., Cecchetti, G. 2001. Biological Monitoring: lichens as bioindicators of air pollution assesment – review. *Environmental pollution*, 114, 471-492.
- Coppins M. 2002. Indices of Ecological Continuity for Woodland Epiphytic Lichen Habitats in the British Isles– British Lichen Society, 1 – 37.

Dobson, F.S. 2000. Lichens – An Illustrated Guide to the British and Irish Species. *Richmond Publishing*. 431 p.

Fabiszewski, J., Brej, T., Bielecki, K. (1987). Plant reactions as indicators of air pollution in the vicinity of a copper smelter. *Acta Soc Bot Pol.* 56(2):353-363.

Fritz O. 2009. Tree age is a key factor for the conservation of epiphytic lichens and bryophytes in beech forests. *Applied Vegetation Science*, 12: 93–106.

Fuga, A., Mitiko, S., Marcelo, P. M., Saldiva, P. 2008. Atmospheric pollutants monitoring by analysis of epiphytic lichens. *Environmental Pollution*, 151, 334-340.

Garty, I. 2001. Biomonitoring atmospheric heavy metals with lichens. *Critical Reviews in Plant Sciences* 63 (4), 309-371.

Garty, J., Ronen, R., Galun, M. 1985. Correlation between chlorophyll degradation and the amount of some elements in the lichen *Ramalina duriaei*. *Environmental and Experimental Botany*, 25, 67-74.

Gombert, S., Asta, J., Seaward, M.R. 2004. Assessment of lichen diversity by index of atmospheric purity (IAP), index of human impact (IHI) and other environmental factors in an urban area (Grenoble, southeast France). *Sci Total Environ.* 324 (1-3), 183-199.

Grodzińska, K., Szarek-Łukaszewska, G., Godzik, B. Survey of heavy metal deposition in Poland using mosses as indicators. *Sci Total Environ.* 1999;229:41-51.

Heggestad, E.H., Middleton J.T. 1959. Ozone in High Concentrations as Cause of Tobacco Leaf Injury. *Science* 23, Vol. 129, Issue 3343, pp. 208-210.

Hissler, C., Stille, P., Krein, A., Geagea, M., Perrone, J., Hoffmann, L. 2008. Identifying the origins of local atmospheric deposition in the steel industry basin of Luxembourg using the chemical and isotopic composition of the lichen *Xanthoria parietina*. *Science of the Total Environment*, 405, 338-344.

Hutchinson, J., Maynard, D., Geiser, L. USDA Forest Service, Pacific Northwest Region Air Resource Management Program. 1996. *Air Quality and Lichens - A Literature Review Emphasizing the Pacific Northwest, USA*.

Jeran, Z., Jacimovic, R., Batic, F., Mavsar, R., 2002. Lichens as integrating air pollution monitors. *Environmental Pollution*, 120, 107–113.

John, E., Dale, M.R.T. 1995. Neighbor relations within a community of epiphytic lichens and bryophytes. *The Bryologist*. No.98(1), p. 29-37.

Kālis, M., 1999. Rīgas pilsētas Centra rajona un Latgales priekšpilsētas Lihenoindikācija: zinātniski-pētnieciskais darbs. Rīga, LU Bioloģijas Fakultāte, Latvijas Universitāte.

Kleperis, J. (2010): Esošās gaisa kvalitātes Rīgā novērtējums laika periodam 2004.-2009. Gadi, Rīgas domes Pilsētas attīstības departamenta INTERREG IVB projekta „Baltijas jūras reģiona sadarbības tīkla projekta – Eko reģions (EcoRegion)” atskaite, „Kvantitatīvo un kvalitatīvo statistikas datu sagatavošana un apkopošana Rīgas pilsētas gaisa kvalitātes uzlabošanas Rīcības programmai”, Rīga, 2010.

Kleperis, J., Bajars, G., Bremere, I., Menniks, M., Viksna, A., Osite, A., Pavlicuks, D. (2011). Air Quality in Riga and Its Improvement Options, *Environmental and Climate Technologies*, vol. 7, pp. 72-78.

Knēgere, I. (2009). Lihenoindikācijas metodes izmantošana Vietalvas pagasta vides kvalitātes kartēšanā. Bakalaura darbs, Latvijas universitāte, Ģeogrāfijas Zinātņu fakultāte, Rīga, 69 lpp.

Kozlov, M.V., Haukioja, E., Bakhtiarov, A.V., Stroganov D.N. 1995. Heavy metals in birch leaves around a nickel – copper smelter at Monchegorsk, northwestern Russia. *Environmental Pollution*. Volume 90, Issue 3, Pages 291-299.

Kricke, R., Loppi, S. 2002. Bioindication: the I.A.P. approach. In: Nimis P.L., Scheidegger C., Wolseley P.A. (eds.) 2002. *Monitoring with Lichens – Monitoring Lichens*. Dordrecht [etc.]. Kluwer Academic Publishers, 21-37.

Latvijas Valsts mežzinātnes institūts „Silava” (2013). *Nacionālā meža monitoringa 1.2. aktivitātes “Pirmā līmeņa gaisa piesārņojuma ietekmes novērtēšanas monitorings” metodika*. Rīga, 8 lpp.

Laundon, J.R., 1967. A study of lichen flora of London. *The Lichenologist*. 3, 277-338.

LeBlanc, F., De Sloover, J. 1970. Relation between industrialization and the distribution and growth of epiphytic lichens and mosses in Montreal. *Canadian Journal of Botany*, 48, 1485- 1496.

Loppi, S., Ivanov, D., Boccardi, R. 2002. Biodiversity of epiphytic lichens and air pollution in the town of Siena (Central Italy). *Environmental pollution*. 116, 123-128.

Ļulko, I. 1990. Rīgas pilsētas gaisa baseina aizsardzības problēmas. Latvijas Ekoloģija. Informatīvais biļetens 2.laidiens. Rīga. 3 – 14 lpp.

McCarthy D. 2004. The Hamilton Lichen survey. Ontario. Brock Univeristy, 18.

McCune, B., Grace, J. B. 2002. *Analysis of Ecological Communities*. MjM Software Design, Oregon, USA, 300 pp.

Mežaka, A., Strzdiņa, L. (2010). Epifīti Dārnīcas pilskalnā. *LU ģeogrāfijas un vides zinātnes 65. zinātniskā konference*, 76.-78 lpp.

Moisejevs, R. 2016. Ķērpju indikatorsugu rokasgrāmata dabas pētniekiem. Daugavpils Universitāte. Dzīvības zinātņu un tehnoloģiju institūts 74.lpp.

Munzi, S., Ravera, S., Caneva, G., 2007. Epiphytic lichens as indicators of environmental quality in Rome. *Environmental Pollution*. 146, 350-358.

Nash III T.H. (eds.) 2008. *Lichen Biology*. 2nd edn. Cambridge [etc.]. Cambridge University Press, 486.

Nali, C., Balducci, E., Frati, L., Paoli, L., Loppi, S., Lorenzini, G., 2007. Integrated biomonitoring of air quality with plants and lichens: A case study on ambient ozone from central Italy. *Chemosphere*, 67,2169–2176.

Nimis, P.L., Scheidegger, C., Wolseley, P.A. (eds.) 2002. *Monitoring with Lichens – Monitoring Lichens*. Dordrecht [etc.]. Kluwer Academic Publishers, 408.

Paoletti, E., Ferrara A.M., Calatayud, V., Cervero, J., Giannetti, F., Sanz M.J., Manning W.J. 2009. *Environmental Pollution*. Volume 157, Issue 3, Pages 865-870.

Peck, J. E., 2016. *Multivariate Analysis for Ecologists: Step-by-Step*, Second edition. MjM Software Design, Gleneden Beach, OR. 192 pp.

Pilecka, J. (2017). Ķīmisko elementu ilglaicīgā un īslaicīgā piesārņojuma izplatība Jelgavas pilsētā. *Vidzemes Augstskolas 11. Studentu pētniecisko darbu konferences zinātnisko rakstu krājums*. Valmiera, 31-38 lpp.

- Piterāns, A. 1986. Vai pazīstam ķērpjus? Rīga. Izdevniecība "Zinātne", 56.
- Piterāns, A., Bērziņa, S. 1990. Rīgas pilsētas lihenoindikācija, Latvijas ekoloģija, Informatīvais biļetens. 2. laidiens, Rīga, 61-67.
- Purvis, O.W., Seaward, M.R.D., Loppi, S. 2007. Lichens in a changing pollution environment: An introduction. *Environmental Pollution*. Vol. 146, pp. 291-292.
- Ristic et. al. (2017). Lichens as biological indicators of air wuality in the urban area of kuršumlīja (southern Serbia), *Kragujevac J. Sci*, vol. 39, pp. 165-175.
- Rīgas Domes mājokļu un vides departaments (2016). *Rīgas pilsētas gaisa kvalitātes uzlabošanas rīcības programma 2016.-2020. gadam*. Rīga, 145 lpp.
- Rīgas vides aizsardzības fonds (2013). *Aktualizētā Rīgas pilsētas gaisa kvalitātes uzlabošanas rīcības programma 2011.-2015. par iespējām samazināt piesārņojumu (daļiņas un slāpekļa oksīdus) un uzlabot gaisa kvalitāti Rīgā*. APSTIPRINĀTS ar Rīgas domes 07.06.2011. lēmumu Nr.3285 (Rīgas domes 26.08. 2014. lēmuma Nr. 1449 redakcijā), Rīga: 86 lpp.
- Robles, C., Greff, S., Pasqualini, V., Garzino, S., Bousquet-Melou, A., Fernandez, C., Korboulewsky, N. and Bonin, G. 2003. Phenols and Flavonoids in Aleppo Pine Needles as Bioindicators of Air Pollution. Vol. 32 No. 6, p.2265-2271.
- Salacgrīvas novada dome (2015). *Salacgrīvas pilsētas ar lauku teritoriju attīstības programma. Esošās situācijas apraksts*. Salacgrīva, 82 lpp.
- Samecka-Cymerman, A., Stankiewicz, A., Kolon, K., Kempers, A.J. 2009. Self-organizing feature map (neural networks) as a tool to select the best indicator of road traffic pollution (soil, leaves or bark of Ribinia pseudoacacia L.). *Environmental Pollution*. Volume 157, Issue 7, Pages 2061-2065.
- Samecka-Cymerman, A., Kolon, K., Kempers, J. 2011. Taxus baccata as a Bioindicator of Urban Environmental Pollution. *Polish J. of Environ. Stud*. Vol. 20, No. 4. 1021-1027.
- Scheidegger, C.; Groner, U.; Keller, C.; Stofer, S., 2002: Biodiversity Assessment Tools - Lichens. - In: Nimis, P.L.; Scheidegger, C.; Wolseley, P.A. (eds) *Monitoring with Lichens - Monitoring Lichens*. Dordrecht, Boston, London, Kluwer Academic. 359-365.
- Sun, E.J., Kang H.W. 2003. Tobacco clones derived from tissue culture with supersensitivity to ozone. *Environmental Pollution*. Volume 125, Issue 1, Pages 111-115.
- Sawidis, T., Breuste, J., Mitrovic, M., Pavlovic, P., Tsigaridas, K. 2011. Trees as bioindicator of heavy metal pollution in three European cities. *Environmental Pollution*. Volume 159, Issue 12, Pages 3560-3570.
- Seaward, MRD., Heslop ,J.A., Green, D., Bylińska, EA. (1988). Recent levels of radionuclides in lichens from southwest Poland with particular reference to 134 Cs and 137 Cs. *J Environ Radioactiv*. 7:123-129.
- Semjonova, I. 2012. Rēzeknes pilsētas gaisa kvalitātes novērtējums, izmantojot lihenoindikācijas metodi. Maģistra darbs. Rīga, LU Ģeogrāfijas un Zemes zinātņu fakultāte.
- Shrestha, G. St Clair L.L. 2014. Lichen Phenolics: Environmental Effects. *Polyphenols in Plants- Isolation, Purification and Extract Preparation*. 53 – 62.
- SIA Estonian, Latvian & Lithuanian Environment (2011). *Piesārņojuma izkļiedes datormodeļa izstrāde Rīcības programmas gaisa piesārņojuma samazināšanai Ventspilī" ietvaros – projekta atskaite*. Rīga, 73 lpp.

Skaliņa, E. 2010. Alūksnes pilsētas gaisa kvalitātes novērtējums izmantojot lihenoindikācijas metodi. Maģistra darbs, Latvijas Universitāte, Ģeogrāfijas un Zemes zinātņu fakultāte, Rīga, 47. Lpp.

Sillet, S.C., Goslin, M.N. 1999. Distribution of epiphytic macrolichens in relation to remnant trees in a multiple-age Douglas-fir forest. *Can. J. For. Res.*, No.29., p.1204-1215.

Starptautiskās finanšu korporācijas un Pasaules Bankas Ārvalstu investīciju konsultatīvais dienests (2003) *Zināšanu ekonomika kā mērķis – labvēlīgi apstākļi investīcijām un tehnoloģiju ieviešanai* - 10. nodaļa - *Urbanizācija un gaisa piesārņojums pilsētās*, 53.-57. lpp.

Stravinskienē, V. Bioindikācijai aplinkos vertinimo metodai. Kaunas, 2005.

Šteinberga, I. (2007). *Kvazistatisku atmosfēras piesārņojuma līmeņu kompleksa analīze un modelēšana*. Promocijas darba kopsavilkums. Latvijas universitāte. Ģeogrāfijas un zemes zinātņu fakultāte. Rīga, 72 lpp.

Thrower, S.L., 1980. Air pollution and lichens in Hong Kong. *The Lichenologist*. 12(3), 305-311.

Tiwari, G.B.G.P.K. 2008. Lichens as an indicator for Air Pollution: A Review. *Indian Journal of Air Pollution Control*. Vol. 8, pp. 8-17.

Van Herk, C.M. 1999. Mapping of ammonia pollution with epiphytic lichens in the Netherlands. *Lichenologist*, No.31(1). p. 9-20.

Will-Wolf, S., Esseen, P.-A., Neitlich, P. 2002. Monitoring biodiversity and ecosystem function: forests. In: *Monitoring with Lichens-Monitoring Lichens*. p.203-222.

Zemkopības ministrija (2015). *Meža un saistīto nozaru attīstības pamatnostādnes 2015.-2020. gadam Stratēģiskais ietekmes uz vidi novērtējums – vides pārskats*. Rīga: 114 lpp.

Znotiņa, O. (2016). Pļaviņu pilsētas gaisa piesārņojuma līmeņa noteikšana pēc lihenoindikācijas metodes. *20. starptautiskā studentu zinātniski praktiskā konference Cilvēks.Vide.Tehnoloģijas*. Rēzekne, 349-354 lpp.

Interneta resursi

Ķērpju elektroniskais noteicējs portālā „Latvijas Daba”. Skat.: 4.06.2019 Pieejams: http://latvijas.daba.lv/augi_senes/kjerpi/saakumlapa.shtml Atsauce tekstā: (Ķērpju noteicējs, Latvijas Daba bez. dat).

Rīgas pilsētas gaisa kvalitātes uzlabošanas rīcības programma. 2004. Rīgas Dome. Skat.: 13.10.2009 Pieejams: <https://mvd.riga.lv/uploads/videgaiss/gaisaricprogrriga.pdf> Atsauce tekstā: (Rīgas pilsētas gaisa ... 2004).

Latvijas Lauksaimniecības universitāte (2017). *Pilsētvides kvalitātes izvērtēšana un gaisa piesārņojuma zonējuma izstrādāšana Jelgavas pilsētas administratīvajai teritorijai*. Sk. 20.04.2019. Pieejams: http://www.jelgava.lv/files/jelgava_gaiss_final_28_03_2016.pdf

Latvijas vides ģeoloģijas un meteoroloģijas centrs (2019). *Gaisa piesārņojums*. Sk. 20.04.2019. Pieejams: <https://www.meteo.lv/lapas/vide/gaiss/gaisa-piesarnojums/gaisa-piesarnojums?id=1033&nid=388>

Rīgas Domes pilsētas attīstības departaments (2017). *Reģistrēto automobiļu skaits Rīgā*. Sk. 20.04.2019. Pieejams: <http://www.sus.lv/lv/6-transporta/63-sauszemes-satiksme/registreto-automobilu-skaits-riga>

Gaisa kvalitāte, bez. dat. Vides pārvalde. Rīgas Domes mājoķļu un vides departaments. Sk.4.06.2019. Pieejams: <https://mvd.riga.lv/nozares/vides-parvalde/gaisa-kvalitate/>

CSDD 2019. Sk. 2.06.2019. Pieejams:
https://www.csdd.lv/cck?Itemid=327&collection=fails&file=doc_fails...

PIELIKUMI

**Parauglukumos konstatētās ķērpju sugas, to seguma un sastopamības pakāpe,
toksitolerances faktors un gaisa tīrības indeksa (I.A.P.) vērtības**

Parauglauk. Nr.	Sugas nosaukums	f	Q	f*Q	I.A.P.
97	Hypogymnia physodes (L.) Nyl.	4	6	24	42
	Xanthoria parietina (L.) Th. Fr.	1	6	6	
	Physcia caesia (Hoffm.) Furnrohr	1	6	6	
	Phaeophyscia orbicularis (Neck.) Moberg	1	6	6	
98	Hypogymnia physodes (L.) Nyl.	4	6	24	48,7
	Xanthoria parietina (L.) Th. Fr.	1	6	6	
	Physcia caesia (Hoffm.) Furnrohr	1	6	6	
	Phaeophyscia orbicularis (Neck.) Moberg	1	6	6	
	Candelariella xanthostigma (Ach.) Lettau	1	6,7	6,7	
99	Hypogymnia physodes (L.) Nyl.	3	6	18	59,2
	Xanthoria parietina (L.) Th. Fr.	1	6	6	
	Physcia caesia (Hoffm.) Furnrohr	1	6	6	
	Lepraria incana (L.) Ach.	1	7,5	7,5	
	Pleurococcus vulgaris Menegh	2	7,5	15	
	Candelariella xanthostigma (Ach.) Lettau	1	6,7	6,7	
112	Hypogymnia physodes (L.) Nyl.	2	6	12	83,9
	Xanthoria parietina (L.) Th. Fr.	1	6	6	
	Physcia caesia (Hoffm.) Furnrohr	1	6	6	
	Phaeophyscia orbicularis (Neck.) Moberg	1	6	6	
	Lepraria incana (L.) Ach.	1	7,5	7,5	
	Pleurococcus vulgaris Menegh	2	7,5	15	
	Candelariella xanthostigma (Ach.) Lettau	2	6,7	13,4	
	Ramalina farinacea (L.) Ach.	1	9	9	
	Ramalina fraxinea (L.) Ach.	1	9	9	

Datu dispersijas analīze

Rezultātu izdruka - Notepad

File Edit Format View Help

Randomization test not requested.

Lichenes

Distance measure: Gower ignore 0,0

VARIANCE EXTRACTED, FIRST 10 AXES

AXIS	Eigenvalue	% of Variance	Raw Cum.%Variance	Corrected Cum.%Variance
1	0.33189E+02	44.391	44.391	1.445
2	0.19209E+02	25.693	70.084	2.416
3	0.11448E+02	15.312	85.396	3.124
4	0.51916E+01	6.944	92.340	3.620
5	0.18262E+01	2.443	94.782	4.001
6	0.14745E+01	1.972	96.754	4.371
7	0.53032E+00	0.709	97.464	4.709
8	0.30458E+00	0.407	97.871	5.039
9	0.29271E+00	0.392	98.263	5.369
10	0.26721E+00	0.357	98.620	5.698

74.7642 = sum of positive eigenvalues

63.3042 = sum of all eigenvalues (the trace)

Cumulative variance explained corrected with method of Cailliez and Pages (1976)
as given in Legendre and Legendre (1998).

45 positive eigenvalues found

52 negative eigenvalues found

210 zero eigenvalues found

-9.43226 = most negative eigenvalue

Cailliez, F. & J.-P. Pages. 1976. Introduction a l`analyse des donnees.

Societe de Mathematiques appliquees et de Sciences humaines, Paris. 616 pp.

Legendre, P. & L. Legendre. 1998. Numerical Ecology. Elsevier, Amsterdam. p. 438.

Writing weighted average scores on 6 axes for 5 Pazime
into file for graphing.

***** PCoA Completed *****

3 Jun 2019, 1:00:27